# شرکت توسعه فناوری‌های پیشرفته مواد نانوساختار نماد

## مقدمه‌ای بر سخت‌پوشی

NAMAD
Technology Development Co.

WWW.NAMADNANOTECH.COM
INFO@NAMADNANOTECH.COM

## تعریف سخت‌پوشی

سخت‌پوشی، لایه‌نشانی یک ماده آلیاژی خاص روی یک قطعه فلزی، با فرآیندهای مختلف جوشکاری، برای به دست آوردن خواص سایش و یا ابعاد مطلوب‌تر است. خواصی که به طور معمول مورد نظر هستند، مقاومت بیشتر در برابر سایش ناشی از خراش مواد معدنی، ضربه، چسبندگی (سایش فلز با فلز)، حرارت، خوردگی یا ترکیبی از این عوامل است.

## دلایل سخت‌پوشی

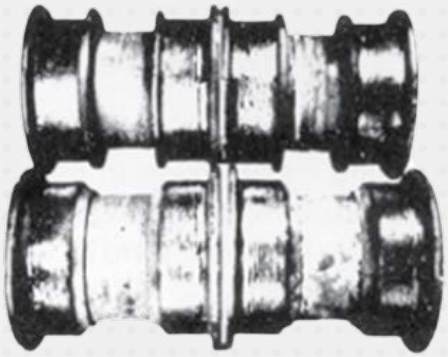
صنایع از محصولات سخت‌پوشی شده برای موارد زیر استفاده می‌کنند:

۱ **کاهش هزینه‌ها** - هزینه سخت‌پوشی یک قطعه فلزی ساییده‌شده به طور معمول ۲۵ تا ۷۵ درصد هزینه استفاده از یک قطعه جایگزین جدید است.

۲ **افزایش طول عمر تجهیزات** - سخت‌پوشی بسته به کاربرد، در مقایسه با قطعه سخت‌پوشی نشده، عمر را بین ۳۰ تا ۳۰۰ برابر افزایش می‌دهد.

۳ **کاهش زمان از کارافتادگی** - از آنجایی که قطعات سخت‌پوشی شده عمر عملکرد بیشتری دارند، توقف کمتری برای تعویض آن‌ها لازم است.

۴ **کاهش مصرف قطعات یدکی** - وقتی قطعات فرسوده قابل بازسازی باشند، نیازی به نگهداری قطعات یدکی متعدد نیست.



غلتک‌های ریل ساییده‌شده که با سخت‌پوشی زیرپودری بازسازی شده‌اند.

کلنگ‌های زیرکوب (Tamping tools) راه آهن کارکرده می‌توانند با استفاده از فرآیندهای جوشکاری بازسازی شوند.

طیف وسیعی از آلیاژهای سخت‌پوشی برای برآوردن نیازهای هر قطعه فلزی موجود است. برخی از آلیاژها بسیار سخت هستند، برخی دیگر نرم‌تر هستند و ذرات سخت مقاوم به سایش در سراسر آن‌ها پراکنده شده‌است. آلیاژهای به خصوصی برای بازسازی یک قطعه تا اندازه مورد نیاز طراحی شده‌اند، در حالی که برخی دیگر به عنوان یک پوشش نهایی طراحی شده‌اند که از سطح کار محافظت می‌کند.

بازیابی توسط سخت‌پوشی اغلب می‌تواند با کسری از هزینه یک قطعه جدید انجام شود.این عمل وابستگی به کمبود قطعات یدکی بر طرف می‌کند و در نتیجه هزینه‌ها را کاهش می‌دهد و همچنین زمان انتظار برای قطعات جایگزین را حذف می‌کند. قطعات بازیابی‌شده توسط سخت‌پوشی اغلب بهتر از قطعات جدید هستند، همانطور که یک قطعه سخت‌پوشی شده بین دو تا بیست برابر بیشتر از قطعه‌ای که سخت‌پوشی نشده دوام می آورد.

یک مزیت اضافی بازیابی توسط سخت‌پوشی این است که در بسیاری از موارد می‌توان قطعه را در محل بدون نیاز به جداسازی کامل یا حتی جزئی دستگاه بازسازی کرد. سخت‌پوشی قطعات ساییده‌شده می‌تواند به میزان بسیار زیادی در هزینه‌های تعمیر و نگهداری صرفه‌جویی کند.

## کاربردهای سخت‌پوشی

**۱ برای بازیابی قطعات ساییده‌شده:**

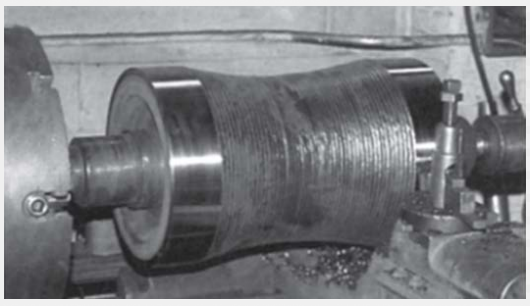
راه حل کامل شناخته شده‌ای برای سایش فلز وجود ندارد. از این رو باید به مرحله‌ای دست یافت، که تمام اجزای در معرض سایش به مرز عمر مفید خود برسند.

دو راه وجود دارد. یا باید قطعه را تعویض کرد و یا آن را بازیابی کرد. برای تعویض قطعه باید قطعه در انبار موجود باشد یا قطعه جدیدی تهیه شود. ممکن است قطعه گران باشد و اگر نیاز به تعویض مکرر داشته باشد، باید همواره تعدادی در دسترس باشد. این امر، جدای از هزینه واقعی قطعه جایگزین، به هزینه‌های کالای موجود و هزینه‌های مدیریت کسب‌وکار اضافه می‌کند.

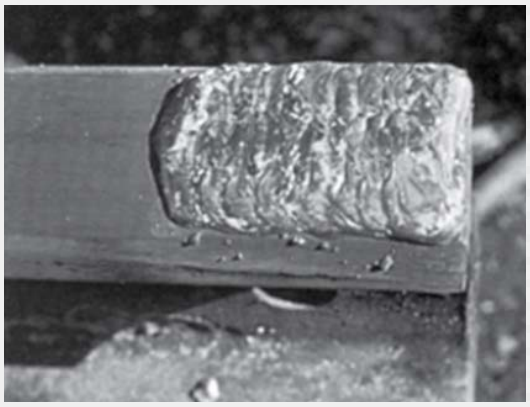
در بسیاری از موارد، ممکن است واردات قطعه توسط نمایندگی‌های مربوطه انجام شود یا در انبار نگهداری نشود. تأخیرهای طولانی می‌تواند رخ دهد و این به معنای از کار افتادن تجهیزات و از دست رفتن تولید است.

**۲ حفاظت از قطعات فلزی جدید در برابر تخریب** (حذف مواد بر اثر سایش).

سخت‌پوشی در تجهیزات جدید که آن قطعه بیشتر مستعد سایش است استفاده می‌شود. روکش آلیاژی با درصد عناصر بیشتر مقاومت به سایش بسیار بهتری نسبت به فلز پایه اصلی دارد. این عمل به طور معمول عمر کاری قطعه را تا دو یا چند برابر نسبت به قطعه‌ای که سخت‌پوشی نشده است، افزایش می‌دهد. اگر چه گریدهای سخت‌پوشی ممکن است به قیمت تجهیزات بیافزایند، اما به طور معمول امکان استفاده از فلز پایه ارزان‌تر را فراهم می‌کند.

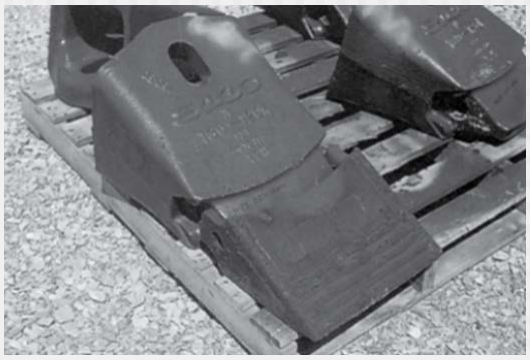


بازسازی. غلتک آسیاب فولادی به ابعاد اصلی بازسازی شده‌است - قبل از سرویس ماشینکاری می‌شود.



بازسازی. انتهای ریل ساییده‌شده به ابعاد اصلی پیشین بازسازی شده‌است - قبل از سرویس سنگ زده می‌شود.

پوشش لب باکت (دم‌تیغ) لودر سخت‌پوشی شده به عنوان نگهداری پیشگیرانه.



ناخنی باکت دراگلاین سخت‌پوشی شده.

## انتخاب فرآیند سخت‌پوشی

سخت‌پوشی را می‌توان با تعدادی از فرآیندهای جوشکاری اعمال کرد. در بیشتر موارد، تجهیزات مشابه یا یکسان با تجهیزاتی است که برای جوشکاری سازه استفاده می‌شود. انتخاب مناسب ترین فرآیند جوشکاری برای یک کار معین به عوامل متعددی بستگی دارد، از جمله:

- **کاربرد قطعه:**
بدان معنی که، چه نوع آلیاژ سخت‌پوشی مورد نیاز است؛ برخی از فرآیندها به انواع خاصی از آلیاژ محدود می‌شوند.

- **ترکیب شیمیایی فلز پایه:**
فرآیندهای مختلف ممکن است، گرمای ورودی متفاوتی داشته باشند، که آن‌ها را برای انواع خاصی از فلزات پایه نامناسب می‌کند، به عنوان مثال، فولادهای منگنزی به گرمای ورودی کم نیاز دارند و

بنابراین سخت‌پوشی با استفاده از روش اکسی‌استیلن مناسب نخواهد بود.

- **اندازه و شکل:**
سخت‌پوشی سطوح بزرگ با شعله یا قوس دستی ممکن است اغلب غیراقتصادی باشد. همچنین ممکن است قطعات با شکل نامنظم برای کاربردهای خودکار مناسب نباشند.

- **دسترسی:**
همیشه به‌کارگیری تجهیزات خودکار سنگین در مناطقی که کار باید انجام شود، ممکن نیست. همچنین، جوشکاری در وضعیت‌های مختلف، انتخاب فرآیندها را محدود خواهد کرد.

- **موقعیت تعمیر:**
اجزای بزرگی که دچار سایش شدید شده‌اند و نیاز به بازسازی شدید دارند، برای فرآیندهایی با نرخ رسوب بالا مناسب هستند.

- **تعداد:**
اگر قرار باشد تعداد زیادی از موارد یکسان یا مشابه سخت‌پوشی شوند، یک فرآیند خودکار مناسب‌ترین خواهد بود.

## فرآیندهای مورد استفاده در سخت‌پوشی

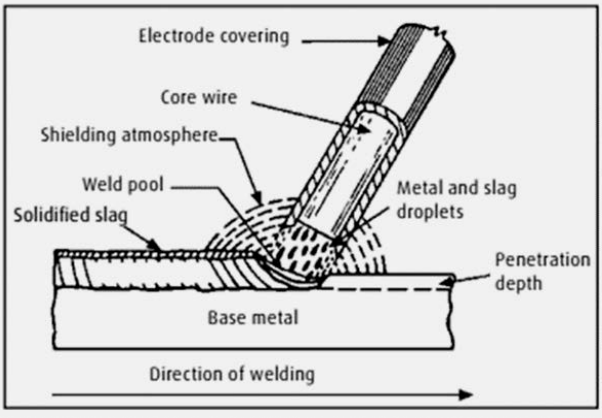
### جوشکاری الکترو دستی (الکترود پوشش‌دار)

**مزایا**

- **در دسترس بودن آلیاژ** - اکثر آلیاژهای سخت‌پوشی به صورت الکترودهای پوشش‌دار موجود هستند
- **ضخامت مواد** - در محدودیت‌های عملی و اقتصادی خاص، اکثر قطعات را می‌توان با فرآیند SMAW جوش داد.
- **وضعیت جوش** - الکترودهای پوشش‌دار سخت‌پوشی برای کارهای در وضعیت جوشکاری بد تراز در دسترس هستند
- **تطبیق‌پذیری** - الکترودهای پوشش‌دار می توانند در فضای باز و مکان‌های دور استفاده شوند.

**محدودیت‌ها**

- **رقت** - دو یا سه لایه برای به دست آوردن حداکثر خواص سایش مورد نیاز است
- **راندمان/رسوب‌گذاری کم** - از دست دادن الکترود (نیاز به تعویض الکترود) و رسوب‌گذاری ۰/۵ - ۳ کیلوگرم در ساعت.




جوشکاری الکترود دستی (SMAW).

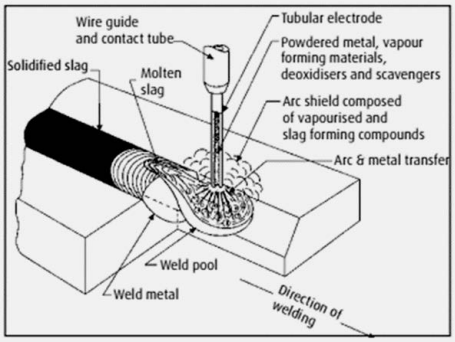
## جوشکاری قوسی توپودری

### مزایا

- **در دسترس بودن آلیاژ** - تقریباً به اندازه آلیاژهای SMAW موجود است، با قابلیت سفارشی سازی آسان آلیاژها در صورت نیاز
- **رسوب‌گذاری بالا** – نرخ‌های مختلف از ۱/۸ – ۱۱/۳ کیلوگرم در ساعت
- **یکپارچگی لایه رسوبی** - بازیابی خوب عناصر در سراسر قوس
- **سهولت به کارگیری** - حداقل زمان برای آموزش یک اپراتور مورد نیاز است
- **تطبیق‌پذیری** - به اندازه الکترودهای پوشش‌دار تطبیق‌پذیر نیست، اما به دلیل عملکرد قوس باز می‌تواند در فضای باز و مکان‌های دور استفاده شود.

### محدودیت‌ها

- **رقت** - دو یا سه لایه برای به دست آوردن حداکثر خواص سایش مورد نیاز است
- **وضعیت جوش** - اگرچه برخی از سیم‌ها دارای قابلیت به کارگیری در وضعیت بد تراز را دارند، اکثر آنها برای وضعیت‌های تخت و افقی طراحی شده‌اند.




جوشکاری قوسی توپودری با قوس باز (FCAW).

## جوشکاری زیرپودری

### مزایا

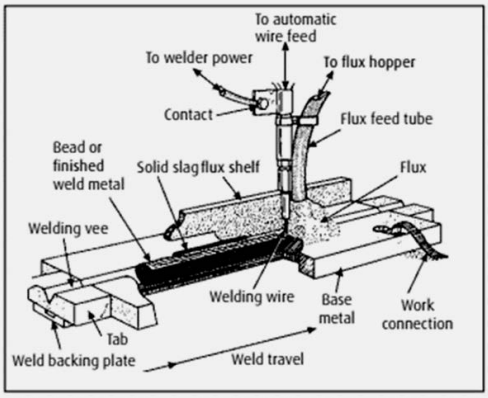
- **سهولت خودکارسازی** - فرآیند خود را با کاربردهای خودکار تطبیق می‌دهد
- **رسوب‌گذاری زیاد** - برای بازسازی قطعات بزرگ ساییده‌شده مقرون به صرفه‌تر است
- **مهارت اپراتور** - مهارت کمی مورد نیاز است و آموزش حداقل است
- **لایه رسوبی جوش** - لایه رسوبی جوش صاف، تمیز و سالم تولید می‌کند
- **محیط کارگاه** - برق نمی‌زند زیرا فلاکس اطراف قوس را احاطه کرده‌است.

### محدودیت‌ها

- **در دسترس بودن آلیاژ** - محدود به آلیاژهای خاصی است که معمولاً برای بازسازی زیر پودری استفاده می‌شوند
- **وضعیت جوش** - محدود به وضعیت تخت به دلیل فلاکس محافظ - معمولاً محدود به قطعات استوانه‌ای است.
- **ضخامت مواد** - سخت‌پوشی زیر پودری محدود به قطعات بزرگتر است که خود را با کاربرد خودکار

تطبیق می‌دهند

- **رقت بسیار بالا** - چندین لایه برای حداکثر خواص سایش مورد نیاز است
- **گرمای ورودی بالا** - می‌تواند قطعات را مخدوش کند
- **تطبیق‌پذیری** - به دلیل تجهیزات خودکار مورد نیاز محدود به کاربردهای کارگاهی است.
- **فلاکس مورد نیاز** - هزینه اضافی و تجهیزات جوش ویژه مورد نیاز است.




جوشکاری زیر پودری (SAW).

## سخت‌پوشی گازی

### لایه‌نشانی میله

در این فرآیند از میله‌های آلیاژی سخت‌پوشی استفاده می‌شود، که ممکن است ریختگی، کارشده یا لوله‌های پرشده با پودر باشند. از تجهیزات استاندارد جوشکاری گاز استفاده می‌شود.

**مزایا**

- رقت کم لایه رسوبی
- کنترل خوب شکل لایه رسوبی
- شوک حرارتی کم به دلیل نرخ کم گرمایش و سرمایش.

**محدودیت‌ها**

- نرخ رسوب‌گذاری پایین
- گرمای ورودی بالا
- رای قطعات بزرگ مناسب نیست.

## پاشش پودری

### پاشش شعله‌ای (Flame Spray)

این فرآیند شامل پاشیدن آلیاژها به شکل پودر روی قطعه پایه است. پودر اسپری شده ممکن است برای ایجاد یک اتصال قوی و یک لایه رسوبی متراکم و بدون متخلخل ذوب شود.

تجهیزات مورد استفاده می‌تواند، مشعل‌های پاشش دستی یا تفنگ‌های فلزپاشی پیشرفته برای کاربردهای تخصصی‌تر باشند.

**مزایا**

- کنترل دقیق ضخامت و شکل رسوب
- رقت ناچیز رسوب
- سهولت به کارگیری
- مناسب برای خودکارسازی
- انتخاب گسترده‌ای از مواد پوشش در دسترس است.

**محدودیت‌ها**

- گرمای ورودی بالا با پوشش‌های ذوب‌شده.

## فرآیند پاشش سوخت-اکسیژن سرعت بالا (HVOF)

این فرآیند شبیه پاشش شعله‌ای است، با این تفاوت که فشارهای مورد استفاده برای جریان گاز بسیار بیشتر است و در نتیجه سرعت خروج گاز از نازل افزایش می‌یابد. این امر اجازه می‌دهد تا نرخ لایه‌نشانی بالاتری نسبت به پاشش شعله‌ای داشته باشد.

**مزایا**

- کنترل دقیق ضخامت و شکل لایه
- رقت ناچیز لایه
- مناسب برای خودکارسازی
- گستره وسیع انتخاب مواد پوشش در دسترس است.

**محدودیت‌ها**

- هزینه به نسبت بالای تجهیزات
- قابلیت حمل محدود.

## پاشش قوس الکتریکی

در پاشش قوس الکتریکی، یک جریان الکتریکی DC بین دو سیم مصرفی که به طور مداوم تغذیه می‌شوند که مواد پوشش را تشکیل می‌دهند، برقرار می شود. سپس یک گاز فشرده از طریق نازلی تزریق می‌شود که سیم مذاب را اتمیزه می‌کند و آن را روی قطعه کار پخش می‌کند.

**مزایا**

- نرخ رسوب‌گذاری بالا
- رقت ناچیز رسوب
- مناسب برای خودکارسازی
- کنترل دقیق ضخامت و شکل رسوب.

**محدودیت‌ها**

- قابلیت حمل محدود
- هزینه به نسبت بالای تجهیزات
- محدود به مواد مصرفی که جریان را هدایت می‌کنند
- قوس الکتریکی در معرض.

## قوس انتقال یافته پلاسما (PTA)

در اسپری پلاسما، جریان الکتریکی DC برای تولید جریانی از گاز یونیزه‌شده در دمای بالا استفاده می‌شود. این گاز یونیزه‌شده یا پلاسما منبع گرما است، که سپس مواد پوششی را که به شکل پودر به داخل جریان پلاسما وارد می‌شود، به سمت قطعه کار هدایت می‌کند.

**مزایا**

- رقت ناچیز رسوب
- مناسب برای خودکارسازی
- کنترل دقیق ضخامت و شکل رسوب
- می‌توان از مواد با نقطه ذوب بالا استفاده کرد.

**محدودیت‌ها**

- قابلیت حمل محدود
- هزینه به نسبت بالای تجهیزات
- اکسیداسیون مواد پاششی ممکن است رخ دهد.

## اطلاعات عمومی سخت‌پوشی

### جوش‌پذیری فولادها و فلزات آهنی

سخت‌پوشی را می‌توان با موفقیت در گستره وسیعی از انواع فلزات پایه اعمال کرد. مانند جوشکاری سازه‌ای یا تعمیری، انواع مختلف فلزات پایه ممکن است نیاز به تنظیماتی برای عمل جوشکاری استاندارد داشته باشند. بخش زیر الزامات مختلف انواع فلزات پایه را مورد بحث قرار می‌دهد.

### فولاد نرم و فولادهای کم آلیاژ

این گروه از مواد شامل فولادهای کربنی ساده حاوی حداکثر ۰/۳ کربن و همچنین انواع کم آلیاژ است، که ممکن است شامل مقادیر کمی از عناصر مانند منگنز و کروم باشد. بیشتر این آلیاژها را می‌توان به صورت کارشده (نوردشده، فورج‌شده و ...) یا ریختگی یافت. به طور کلی، این فولادها را می‌توان بدون هیچ احتیاط خاصی جوش داد، اما برای مقاطع بزرگ یا ضخامت‌های بیش از ۲۰ میلی‌متر، پیش‌گرمایشی حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به کاهش خطر ترک خوردگی ناشی از تنش کمک می‌کند.

### فولادهای کربنی و آلیاژی قابل سخت‌شدن (سختی‌پذیر)

این گروه شامل فولادهای کربنی با بیش از ۰/۳ کربن و همچنین فولادهای آلیاژی مورد استفاده برای مواردی مانند چاقوهای برش، ناخن‌های بولدوزر، دندانه‌های خاص جام لودر و ... است. همیشه توصیه می‌شود، که فولادهای این گروه را قبل از جوشکاری ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد پیش‌گرم شوند و سپس اجازه داده‌شود، قطعه پس از اتمام سخت‌پوشی به آرامی تحت نوعی عایق مانند آهک خنک شود. تا حد امکان، دمای پیش‌گرمایش باید در طول عملیات سخت‌پوشی حفظ شود. در چنین شرایطی، سودمند است، که تمام جوشکاری‌های مورد نیاز روی یک جزء در یک زمان کوتاه بدون وقفه‌های بی مورد انجام شود. همچنین ممکن است برای شرایط خاص خدمات، لایه‌های بافر روی این فولادها مورد نیاز باشد.

### فولادهای ابزار

فولادهای ابزار و قالب اغلب به دلیل تشکیل مارتنزیت تمپرنشده در طول عملیات سخت‌پوشی، در برابر ترک‌های ناحیه داغ بسیار حساس هستند. برای جبران این امر لازم است از دمای پیش‌گرمایش بالا در حد ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شود و این دما در طول عملیات جوشکاری حفظ شود. بلافاصله پس از سخت‌پوشی، قطعه را باید با پوشاندن دقیق با یک عایق خوب مانند آهک پودری خشک یا ورمیکولیت بسیار آهسته خنک کرد و یا می‌توان قطعه را به آرامی در کوره خنک کرد.

### فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی

این مواد را می‌توان بدون هیچ‌گونه پیش‌گرمایشی سخت‌پوشی کرد، اما مطلوب است که سخت‌پوشی را به گریدهای جوش‌پذیر فولادهای زنگ‌نزن محدود کرد، به خصوص اگر قطعه برای استفاده در محیط‌های خورنده باشد. این گریدها یا حاوی تثبیت‌کننده‌هایی مانند تیتانیوم هستند یا با محتوای کربن بسیار کم ساخته شده‌اند. فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی بیشتر از سایر انواع فولاد از اعوجاج رنج می‌برند و به همین دلیل، مطلوب است که حرارت ورودی را تا حد عملی در هنگام سخت‌پوشی کم نگه داشته شود.

### فولادهای زنگ‌نزن کروم‌دار ساده

این فولادها می‌توانند انواع مارتنزیتی سختی‌پذیر یا گریدهای فریتی نرم باشند. هر دو را می‌توان با موفقیت سخت‌پوشی کرد. برای انواع سخت، باید از پیش‌گرمایشی در حدود ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده کرد و پس از آن، پس از عمل سخت‌پوشی، سرد شدن آهسته در زیر عایق انجام شود. انواع فریتی نرم به هیچ پیش‌گرمایی نیاز ندارند و گرمای ورودی باید در حین سخت‌پوشی به حداقل برسد تا از رشد دانه بیش از حد و در نتیجه کاهش استحکام جلوگیری شود.

### فولادهای آستنیتی منگنزدار

این فولادها که حاوی ۱۱ تا ۱۴ درصد منگنز هستند، بسیار چقرمه و مستحکم با مقاومت عالی در برابر ضربه هستند. در واقع، آن‌ها توانایی کارسخت شدن تحت بار را دارند که آن‌ها را برای استفاده در تجهیزات خردکن بسیار مناسب می‌کند. آن‌ها تقریباً به طور اجتناب ناپذیری به شکل ریختگی تولید می‌شوند و پس از استفاده طولانی مدت غیر مغناطیسی یا بسیار ضعیف مغناطیسی خواهند بود. فولادهای آستنیتی منگنزدار را نباید پیش‌گرمایش کرد، مگر در آب و هوای بسیار سرد که ممکن است از گرم کردن تا حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شود. برای جلوگیری از احتمال تشکیل فازهای شکننده در ناحیه جوش، گرمای ورودی باید به کم‌ترین مقدار ممکن برسد.

اجزای ساخته‌شده از فولاد ۱۱ تا ۱۴ درصد منگنز باید در حین سخت‌پوشی، با غوطه‌ور کردن تمام قطعه به جز ناحیه کاری در آب یا با جوشکاری متناوب، خنک نگه داشته شوند. در مواردی که خطر افزایش دمای ناحیه جوش از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت زمان قابل توجهی وجود دارد، پاشیدن مکرر آب توصیه می‌شود. همچنین، همیشه باید از آمپرهای پایین استفاده کرد. شکنندگی فولادهای منگنزدار یک واکنش زمان/دما است. کربن بیشتر و منگنز کمتر این واکنش را تسریع می‌کند. فولادهای منگنزدار به دلیل گرمای ورودی بالا هرگز نباید توسط فرآیندهای شعله گاز سخت‌پوشی شوند.

### چدن خاکستری

دو تکنیک برای سخت‌پوشی چدن استفاده می‌شود. اولین مورد شامل پیش‌گرمایش تا حدود ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد است، که در آن شرایط می‌توان مناطق بزرگ را با خطر کم ترک خوردگی بازسازی یا سخت‌پوشی کرد. سرمایش پس از جوشکاری باید آهسته باشد و به طور کلی از نوعی پوشش عایق استفاده می‌شود. بازسازی یا تعمیر ترک بهتر است، با استفاده از یک الکترود نیکل خالص یا با درصد نیکل بالا یا یک الکترود کم هیدروژن فولاد نرم انجام شود. به طور مشابه، فرآیندهای گازی مانند پاشش پودر ممکن است، مورد استفاده قرار گیرد.

روش دوم اغلب روی قطعات بزرگی که پیش‌گرمایش آن‌ها عملی نیست، استفاده می‌شود. این روش شامل استفاده از الکترودهای سخت‌پوشی پر آلیاژ است، که نیاز شدیدی به تنش‌زدایی ترکی دارد. سرعت‌های حرکت بالا و جریان‌های کم به طور معمول برای ارتقای تنش‌زدایی ترکی تا جایی که عملی باشد، استفاده می‌شود. تنش‌زدایی ترکی که به این صورت انجام می‌شوند، تنش‌ها را در ناحیه جوش کاهش می‌دهد و کار کلی سالم را تضمین می‌کند.

### چدن‌های نیکل-سخت

این چدن‌ها از جمله مشکل‌ترین مواد برای سخت‌پوشی هستند، اما درجه خوبی از موفقیت با استفاده از روش زیر به دست آمده‌است.

در ابتدا، کل حجم ریختگی باید تا رنگ ظاهری آن به رنگ قرمز مات تبدیل شود، پیش‌گرمایش ادامه یابد و این دما باید در کل عملیات جوشکاری حفظ شود. سپس ناحیه‌ای که قرار است سخت‌پوشی شود باید با الکترودهای نیکل خالص یا سیم نیکل برای جوشکاری گاز محافظ یا زیر پودری انجام شود. سپس با استفاده از هر الکترود سخت‌پوشی که برای شرایط سرویس قطعه مناسب است، سخت‌پوشی روی نیکل اعمال می‌شود. پس از جوشکاری، حجم ریختگی باید به آرامی از حرارت قرمز در زیر پوششی از مواد عایق یا در یک کوره خنک شود.

### چدن سفید

سخت‌پوشی چدن‌های سفید توصیه نمی‌شود.

## آماده‌سازی برای سخت‌پوشی

### شرایط سطح

اولین شرط این است که قطعه کار تمیز و عاری از زنگ‌زدگی یا پوسته در اثر حرارت باشد. ممکن است برای از بین بردن کثیفی، گریس، زنگ‌زدگی و ... به برس سیمی، سنگ زدن و/یا شستن با حلال نیاز باشد. درجه تمیزی مورد نیاز در هنگام استفاده از سخت‌پوشی گازی بیشتر است و برای این فرآیند، کار باید همیشه تا رسیدن فلز پایه براق تمیز شود.

یک فلز پایه سالم مورد نیاز است و ممکن است نیازمند حذف فلز خسته‌شده یا نوردشده، برجستگی‌های بلند یا سایر بی‌نظمی‌های عمده سطحی باشد. این عمل ممکن است، با سنگ‌زنی، ماشینکاری یا گوجینگ انجام شود.

ترک‌های فلز پایه باید با گوجینگ یا سنگ‌زنی حذف شوند و با استفاده از الکترودهای سازگار تعمیر شوند.

هنگام ساخت لبه‌های ابزار برش، قالب‌ها و ...، یک تورفتگی لازم است تا حمایت کافی برای مواد سخت‌پوشی فراهم شود.

**موقعیت میز کار**

تا جایی که ممکن است، میزکار باید به گونه‌ای قرار گیرد، که کار سخت‌پوشی در وضعیت پایین دست (قطعه‌کار افقی) انجام شود. شیب سربالایی حدود ۱۰ درجه گاهی اوقات می‌تواند در نشاندن پاس‌های جوش سنگین‌تر کمک کند.

اگر کار باید در وضعیت بد تراز انجام شود، باید به انتخاب مواد مصرفی و فرآیندهای جوشکاری مناسب توجه دقیقی شود.

**پیش‌گرمایش**

اثر پیش‌گرمایش تمایل به موارد زیر را کاهش می‌دهد:

۱ **ایجاد ترک.** رطوبت ممکن است توسط پوشش‌های الکترود یا فلاکس به فلز جوش مذاب وارد شود. هیدروژنی که از رطوبت ایجاد می‌شود، احتمال ترک‌خوردگی ناحیه متأثر از جوش یا ناحیه متأثر از حرارت را افزایش می‌دهد. پیش‌گرمایش سرعت سرمایش را کاهش می‌دهد و به هیدروژن اجازه می‌دهد تا خارج شود.

۲ **ایجاد تنش‌های انقباضی.** فلز جوش مذاب در حین سرد شدن منقبض می‌شود، که باعث ایجاد تنش بین فلز جوش منقبض شده و فلز پایه سردتر می‌شود. این امر می‌تواند باعث ایجاد ترک در حین یا بعد از جوشکاری شود. با پیش‌گرمایش فلز پایه، اختلاف دمایی بین فلز پایه و فلز جوش کاهش می‌یابد. این امر حساسیت به ترک خوردگی را کاهش می‌دهد.

۳ **ایجاد تخلخل.** باز هم هیدروژن مقصر است. رطوبت می‌تواند روی سطحی که پیش‌گرم نشده وجود داشته‌باشد. در حین جوشکاری، هیدروژن می‌تواند در فلز جوش به دام بیفتد و در حین جامد شدن باعث ایجاد تخلخل شود. پیش‌گرمایش رطوبت روی ماده پایه را از بین می‌برد.

٤ **ایجاد ناحیه سخت در مجاورت جوش.** برخی از فولادهای آلیاژی به دلیل سرعت سرمایش سریع در حین جوشکاری، تمایل به سخت شدن و ترک خوردن در ناحیه متأثر از حرارت دارند. پیش‌گرمایش سرعت سرمایش را کاهش می‌دهد و ریزساختار انعطاف‌پذیرتری ایجاد می‌کند.

۵ **ایجاد اعوجاج.** فلز جوش با سرد شدن، منقبض می‌شود و بین فلز جوش و فلز پایه سردتر تنش ایجاد می‌کند. بنابراین فلز پایه می‌تواند دچار اعوجاج شود. پیش‌گرمایش می‌تواند با کاهش اختلاف دما بین فلز پایه و فلز جوش به به حداقل رساندن اعوجاج کمک کند.

**موقعیت میز کار**

تا جایی که ممکن است، میزکار باید به گونه‌ای قرار گیرد، که کار سخت‌پوشی در وضعیت پایین دست (قطعه‌کار افقی) انجام شود. شیب سربالایی حدود ۱۰ درجه گاهی اوقات می‌تواند در نشاندن پاس‌های جوش سنگین‌تر کمک کند.

اگر کار باید در وضعیت بد تراز انجام شود، باید به انتخاب مواد مصرفی و فرآیندهای جوشکاری مناسب توجه دقیقی شود.

**موقعیت میز کار**

تا جایی که ممکن است، میزکار باید به گونه‌ای قرار گیرد، که کار سخت‌پوشی در وضعیت پایین دست (قطعه‌کار افقی) انجام شود. شیب سربالایی حدود ۱۰ درجه گاهی اوقات می‌تواند در نشاندن پاس‌های جوش سنگین‌تر کمک کند.

اگر کار باید در وضعیت بد تراز انجام شود، باید به انتخاب مواد مصرفی و فرآیندهای جوشکاری مناسب توجه دقیقی شود.

## دمای پیش‌گرمایش چگونه مشخص می‌شود؟

قبل از انتخاب دقیق دمای پیش‌گرمایش، ترکیب شیمیایی مواد پایه باید شناخته شود. محتوای کربن و محتوای آلیاژ فلز پایه دو عامل اصلی هستند، که بر دمای پیش‌گرمایش تأثیر می‌گذارند.
به طور معمول، هر چه محتوای کربن بیشتر باشد و/یا محتوای آلیاژ بالاتر باشد، دمای پیش‌گرمایش بیشتر می‌شود. در حین جوشکاری، دمای بین پاسی باید با دمای پیش‌گرمایش یکسان باشد.
یکی دیگر از عوامل مهم در تعیین دمای پیش‌گرمایش، ضخامت فلز پایه است. با افزایش ضخامت فلز پایه، دمای پیش‌گرمایش بالاتری مورد نیاز است.
هنگام پیش‌گرمایش، یک پیش‌گرمایش غوطه‌وری لازم است تا کل قطعه به دمای پیش‌گرمایش برسد. به طور معمول تمام اجزایی که پیش‌گرمایش شده‌اند، باید به آرامی خنک شوند.

### استفاده از لایه های بافر

اصطلاح بافر برای توصیف وجود یک لایه رسوبی میانی بین فلز پایه و لایه سخت‌پوشی استفاده می‌شود. مواردی وجود دارد که این عمل ضروری است.

**۱ سخت‌پوش روی مواد نرم برای خدمات بارگذاری بالا.**

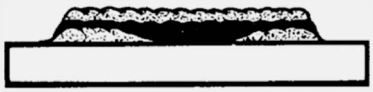
هنگامی که مواد سخت‌تر سخت‌پوشی روی یک ماده پایه نرم استفاده می‌شود، به عنوان مثال، فولاد نرم، تمایل به فرورفتن لایه سخت‌پوشی در شرایط بار بالا وجود خواهد داشت. این امر ممکن است، منجر به پوسته پوسته شدن مواد سخت‌پوشی در شرایط شدید، شود. برای غلبه بر این مشکل، یک لایه از مواد مستحکم و چقرمه قبل از سخت‌پوشی روی قطعه کار رسوب‌گذاری می‌شود.

**۲ سخت‌پوشی روی قطعات در معرض ضربه شدید یا خم شدن.**

بسیاری از لایه های رسوبی سخت‌پوشی «تنش‌زدایی ترکی» را در بر دارند. هنگامی که یک قطعه در معرض ضربه شدید یا خم شدن قرار می‌گیرد، این خطر وجود دارد، که در لایه رسوبی که در حین جوشکاری تنش‌زدایی ترکی نمی‌شوند، ترک‌های عرضی ریز ایجاد شود. این ترک‌ها برای سخت‌پوشی مضر نیستند، اما این خطر وجود دارد که در شرایط سرویس بیان‌شده، ترک‌ها به‌عنوان نقاط تمرکز تنش عمل کنند و ترک‌ها به سمت فلز پایه پیشروی کنند. این تمایل در جایی که فلز پایه یک فولاد با استحکام بالا باشد بیشتر آشکار می‌شود. استفاده از یک لایه بافر مناسب بین پایه و لایه رسوبی سخت‌پوشی از این انتشار ترک جلوگیری می‌کند.

**۳ سخت‌پوشی روی سخت‌پوشی نیمه ساییده‌شده.**

اغلب اتفاق می‌افتد، که قطعاتی که پیش‌تر سخت‌پوشی شده‌اند، در نواحی خاصی ساییده شده‌اند و مقداری از مواد اولیه سخت‌پوشی هنوز باقی مانده‌است. در بسیاری از موارد، می‌توان به طور مستقیم روی این ماده موجود، لایه رسوبی سخت‌پوشی را مجدد اعمال کرد. به طور خاص انواعی مناسب هستند که برای لایه‌نشانی در چندین لایه طراحی شده باشند، در غیراین‌صورت لازم است اقداماتی انجام شود تا از «پوسته پوسته شدن» مواد سخت‌پوشی ثانویه جلوگیری شود.
بهترین تکنیک این است، که مواد سخت‌پوشی مشکوک باقی‌مانده به وسیله گوجینگ حذف شوند. با این حال، اگر انجام این کار غیر عملی باشد، یک لایه بین دو لایه رسوبی، سخت‌پوشی را قابل اطمینان می‌کند و یک فلز پایه بسیار چقرمه برای لایه‌های سخت‌پوشی نهایی تولید می‌کند.



استفاده از لایه میانی جهت سخت‌پوشی روی لایه با تاریخچه سخت‌پوشی پیشین.

## کنترل اعوجاج

اعوجاج تا حدی در تمام جوشکاری‌ها وجود دارد و در بسیاری از موارد به اندازه کافی شدید نیست، که پیامدی داشته باشد. با این حال، مواردی وجود دارد که می‌تواند باعث ایجاد مشکلاتی در سخت‌پوشی، به‌ویژه در بخش‌های نازک پایه فلزی شود.

**اعوجاج توسط دو عامل اصلی ایجاد می شود:**

**۱ انقباض فلز جوش در هنگام سرد شدن از حالت مذاب تا دمای محیط.**

فلز مذاب با سرد شدن تا دمای اتاق در حدود ۱۱ درصد در حجم منقبض می‌شود. در سخت‌پوشی، فلز جوش مذاب به فلز اصلی متصل می‌شود و در طول انقباض خود تمایل دارد فلز پایه را به صورت کمان در امتدا جهت حرکت جوش بکشد.

**۲ نرخ های مختلف انبساط و انقباض بین فلز در مجاورت و در فاصله‌ای از جوش.**

این مشکل در ضخامت‌های بسیار نازک فلز پایه بیشتر برجسته می‌شود. فلز نزدیک به ناحیه جوش بسیار داغ می‌شود و شروع به انبساط می‌کند. توسط فلز سخت سرد دورتر از ناحیه جوش مهار می‌شود، فقط می‌تواند با فشار دادن یا کمانش ناحیه پلاستیکی اطراف جوش حرکت کند. هنگامی که حرکت کافی انجام شد، نمی توان آن را به طور کامل در طول چرخه سرمایش معکوس کرد و ممکن است کار به صورت دائم دارای اعوجاج شود.

**راه‌های مختلفی وجود دارد که می توان اعوجاج را در طول سخت‌پوشی کنترل کرد یا به حداقل رساند.**

**۱ استفاده از آلیاژهای سخت‌پوشی که تنش‌زدایی ترکی می‌شوند.**

بسیاری از مواد پر آلیاژ سخت‌پوشی، در طی سرمایش تنش‌زدایی ترکی می‌شوند. این بدان معنی است، که ترک‌های کوچکی در سراسر مهره جوش ایجاد می‌شود به طوری که پاس جوش به قسمت‌های کوچک تفکیک می‌شود و میزان تنش یا کشش فلز جوش در حال خنک شدن روی ماده پایه کاهش می‌یابد.

این تنش‌زدایی ترکی در اکثر موارد ضرری برای عملکرد رسوب سخت‌پوشی ندارد و باعث پوسته پوسته شدن و ورقه‌ای شدن نمی‌شود. تمایل تنش‌زدایی ترکی با جریان‌های جوش کم و سرعت حرکت بالا افزایش می‌یابد.

**۲ مهار قطعات**

در بسیاری از موارد، اعوجاج، به ویژه نوع اول مورد بحث، را می‌توان با مهار کردن قطعه به طوری که حرکت آن آزاد نباشد، برطرف کرد. این کار را می توان با گیره یا چسباندن قطعه به تکیه‌گاه محکم انجام داد. برای اجسام مسطح مانند فک‌های سنگ شکن و ...، دو قسمت را می‌توان با گیره یا خال جوش پشت به پشت به هم چسباند و به طور متناوب روی هر یک از آن‌ها سخت‌پوشی اعمال کرد.

**۳ پیش نشانی (از پیش خم کردن).**

با پیش نشانی یا خم کردن قطعه در جهت مخالف با جهتی که می‌تواند اعوجاج یابد، جوشکاری تمایل دارد آن را به حالت اولیه خود برگرداند. مقدار و ماهیت واقعی پیش نشانی مورد نیاز برای یک کار مشخص به بهترین وجه با تجربه مشخص می‌شود.

**۴ پیش‌گرمایش**

با کاهش سرعت سرمایش و در نتیجه سرعت انقباض فلز داغ، گاهی اوقات پیش‌گرمایش می‌تواند

برای کاهش اعوجاج استفاده شود. این به این دلیل است که زمان بیشتری را برای یکسان شدن تنش ها در نواحی مجاور جوش به جای ایجاد اعوجاج در کار کلی، فراهم می‌کند.

**توالی صحیح جوشکاری.**

استفاده از تکنیک‌های جوشکاری نوبتی مانند پس‌گام، می‌تواند به کاهش اعوجاج در موارد مسطح مانند ناخن‌های بولدوزر و گریدر کمک زیادی کند. همانطور که پیش‌تر ذکر شد، اگر دو قطعه پشت به پشت ثابت شوند و به طور متناوب روی هر یک از آن‌ها سخت‌پوشی انجام شود، اعوجاج به حداقل می‌رسد. این تکنیک اغلب در فک‌های سنگ شکن و سایر اقلام تخت بزرگ استفاده می‌شود.

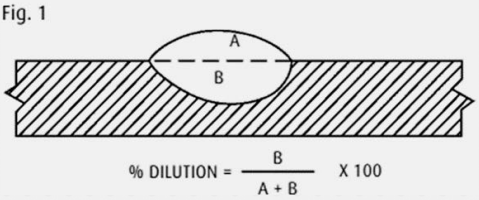
**نکته:** هنگام سخت‌پوشی قطعات نازک دراز مانند تیغه‌های گیوتین، احتمال انقباض زیادی در فلز پایه وجود دارد که منجر به کوتاه شدن تیغه می‌شود. با مهار تیغه می‌توان تا حد زیادی بر این مشکل غلبه کرد، اما با این وجود، توصیه می‌شود هنگام برش مواد برای تیغه‌های جدید مقداری برای انقباض در نظر گرفته شود.

## کنترل رقت رسوب

رقت رسوب زمانی اتفاق می‌افتد، که فلز پایه ذوب‌شده توسط قوس الکتریکی یا شعله گاز، با فلز جوش مذاب در حین سخت‌پوشی مخلوط شود.

رقت به عنوان تغییر در ترکیب شیمیایی فلز پرکننده جوشکاری که در اثر اختلاط فلز پایه یا فلز جوش قبلی در مهره جوش ایجاد می‌شود، تعریف می‌شود. به صورت نسبت بین فلز پایه به فلز پرکننده در رسوب جوش اندازه‌گیری می‌شود. یعنی درصد رقت، مقدار فلز پایه (یا فلز جوش قبلی) است که به رسوب جوش وارد می‌شود.

Fig. 1




رقت نسبت بین فلز پایه به فلز پرکننده در نظر گرفته می‌شود.

اثر اصلی آن کاهش محتوای آلیاژی رسوب سخت‌پوشی و بنابراین تأثیر نامطلوب بر مقاومت در برابر سایش یا خوردگی آن است. میزان تأثیر درصد رقت معینی بر خواص یک رسوب سخت‌پوشی به مقدار زیادی به ترکیب شیمیایی مواد پایه بستگی دارد.

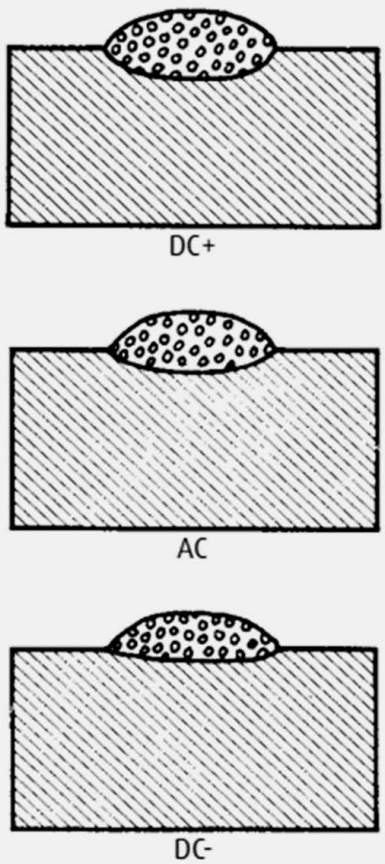
درجه رقت رسوب تابعی از فرآیند و شرایط جوشکاری است. به طور کلی، می توان بیان کرد که برای جوشکاری قوس الکتریکی، جریان‌های بالاتر و ولتاژ قوس بالاتر منجر به درجه رقت بیشتر می‌شود.

هنگام اتصال دو فلز، استحکام اتصال با میزان نفوذ یا رقت مشخص می‌شود. در سخت‌پوشی، نیازی به نفوذ زیاد نیست، زیرا فقط اتصال بین رسوب جوش و فلز پایه مورد نیاز است. از آنجایی که ترکیب شیمیایی و خواص روکش‌های سخت پوشی به طور معمول با فلز پایه کاملاً متفاوت است، رقت بیش از حد می‌تواند مضر باشد. آلیاژهای سخت‌پوشی به دقت فرموله می‌شوند تا ویژگی‌های سایش خاص را در حداقل مقدار پاس‌های جوش ارائه دهند، بنابراین، با افزایش رقت، ویژگی‌های سایش کاهش می‌یابد.

**عواملی غیر از فرآیند جوشکاری که بر رقت اثر می‌گذارند:**

- **سرعت جوشکاری.** هرچه سرعت جوش کمتر باشد، نرخ رقت بیشتر است.
- **دمای پیش‌گرمایش.** پیش‌گرمایش بالاتر رقت رسوب بیشتری می‌دهد. دمای پیش‌گرمایش را در محدوده توصیه‌شده نگه دارید
- **جریان جوشکاری.** هر چه جریان بیشتر باشد، رقت بیشتر است
- **وضعیت جوش.** به ترتیب کاهش رقت: عمودی به بالا (بیشترین رقت)، افقی، سربالایی، تخت، سرازیری (کمترین)
- **تکنیک جوشکاری.** عرض بیشتر نوسان الکترود باعث افزایش رقت می‌شود. مهره‌های جوش رشته‌ای یا مستقیم حداقل رقت را دارند. همپوشانی بیشتر مهره قبلی نیز رقت را کاهش می‌دهد.
- **تعداد لایه‌ها.** هرچه لایه‌های بیشتری رسوب‌گذاری شوند، رقت کاهش می‌یابد.
- **طول الکترود.** الکترود طولانی‌تر رقت را کاهش می دهد. درر فرایندهای مبتی بر سیم، بیرون زدگی سیم از سر نازل هر چقدر بلندتر باشد رقت کاهش می‌یابد.
- **نوع جریان جوشکاری و قطبیت استفاده‌شده نیز بر رقت تاثیر می‌گذارد.** بیشترین رقت با استفاده از DC مثبت (DC +) به دست می‌آید. AC اثر متوسطی دارد و DC منفی (DC-) کمترین رقت را دارد.
- **فرآیندهای سخت‌پوشی میله‌ای گازی و پاشش پودر** به دلیل ذوب بسیار محدود فلز پایه در طول لایه‌نشانی، به مراتب کمترین نرخ رقت را دارند.

Fig. 2




نمایش طرح‌واره اثرات رقت ناشی از قطبیت‌های مختلف جوشکاری.

## الگوهای رسوب سخت‌پوشی

رسوبات سخت‌پوشی به طور کلی در یکی از سه الگوی پوشش کامل، لایه‌های کبریتی یا مستقیم یا نقاط منفرد اعمال می‌شود. انتخاب بهترین نوع رسوب به عوامل مختلفی از جمله کاربرد قطعه، شرایط سرویس و وضعیت تعمیر بستگی دارد.

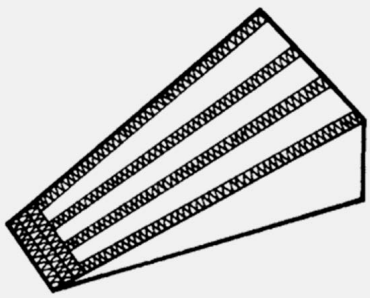
### پوشش ممتد

این الگو به طور معمول برای بازسازی و سخت‌پوشی قطعاتی که اندازه یا شکل بحرانی دارند، مانند غلتک‌ها، شفت‌ها، خط آهن، فک‌های سنگ شکن و سنگ شکن‌های مخروطی استفاده می‌شود.
پوشش مداوم اغلب روی قطعاتی که در معرض درجات بالایی از سایش یا فرسایش هستند، مورد نیاز است. نمونه‌های آن، پروانه‌های پمپ و فن، ناودان‌های ماسه، نشیمن‌های سوپاپ، لبه‌های جام لایروبی و مارپیچ‌های آسیاب خاک رس هستند.
باید مراقب بود، که همپوشانی کافی بین پاس‌های جوش مجاز است تا از پوشش کافی سطح تحت عملیات اطمینان حاصل شود. برای محافظت در برابر سایش یا فرسایش ملایم، مطلوب است که جوش در زوایای قائمه نسبت به جهت حرکت مواد ساینده اجرا شود.

هم‌پوشانی لایه‌های جوشکاری باید بین ۳۰ تا ۵۰ درصد باشد.

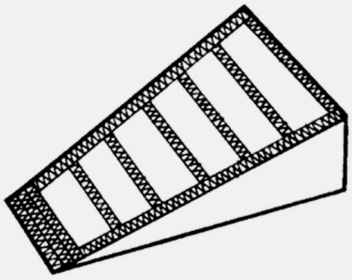
### لایه جوش کبریتی یا مستقیم

جوشکاری به صورت کبریتی یا مستقیم اغلب در مواقعی استفاده می‌شود، که لازم نباشد، مواد پایه به طور کامل را پوشانده شود. نمونه‌های آن باکت‌ها و ناخنی‌های دراگلاین، ناخنی‌های شیارزن، ناودان‌های سنگ و ... است. هنگام لایه‌نشانی پاس‌های مستقیم، اغلب بسته به نیاز و نوع فلز پایه از تکنیک بافت استفاده می‌شود.
روش‌های مختلفی وجود دارد، که بسته به شرایط کاری قطعه، که سخت‌پوشی پاس کبریتی می‌تواند اعمال شود. این امر به بهترین شکل، با در نظر گرفتن سه الگوی زیر که برای ناخنی‌های شیارزن اعمال می‌شود، نشان داده شده‌است.
برای ناخنی‌هایی که در شرایط سنگی درشت کار می‌کنند، بهتر است پاس‌های کبریتی به‌طور موازی با مسیر مواد در حال جابجایی لایه‌نشانی شوند. این عمل باعث می‌شود، که توده‌های بزرگ سنگ و ... در امتداد بالای پاس‌های سخت‌پوشی بدون تماس با فلز پایه حرکت کنند.



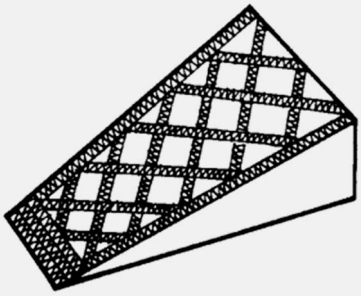
پاس‌های کبریتی به‌طور موازی با مسیر مواد برای شرایط کاری با ذرات درشت.

برای ناخنی‌هایی که در شرایط ماسه‌ای ریز کار می‌کنند، پاس‌های کبریتی در زوایای قائم با جهت حرکت قرار می‌گیرند. این عمل، به مواد ریز اجازه می‌دهد تا در فضاهای میانی فشرده شوند و از مواد پایه محافظت کنند.



پاس‌های کبریتی به‌طور عمود با مسیر مواد
برای شرایط کاری با ذرات ریز.

بیشتر تجهیزات حفاری لازم است در شرایطی به کارگیری شوند، که مخلوطی از مواد ساینده درشت و ریز در تماس با سطح باشد. برای این نوع شرایط کاری، به طور معمول از یک الگوی ترکیبی معروف به الگوی «پنجره‌ای» یا «وافل» استفاده می‌شود.



الگوی پنجره‌ای یا وافل برای شرایطی که ذرات
به صورت ریز و درشت وجود دارند.

### الگوی نقطه‌ای

برای مناطق سایشی که کمتر بحرانی هستند مانند امتداد پشت جام‌ها لودر و بیل‌ها و ... اغلب از الگوی نقطه‌ای استفاده می‌شود. این کار با لایه‌نشانی آلیاژ سخت‌پوشی در نقاط کوچک (۱۵ تا ۲۰ میلی‌متر قطر x ۱۰ میلی‌متر ارتفاع) در حدود ۵۰ میلی‌متر، در مرکز روی سطح انجام می‌شود. همچنین این روش، در قطعات ریختگی بزرگ منگنزی برای کاهش گرمای ورودی مفید است. اگرچه این روش به اندازه الگوی «وافل» موثر نیست، اما به مواد ظریف اجازه می‌دهد در بین نقاط فشرده شوند، در حالی که نقاط برجسته در برابر توده‌ها یا سنگ‌های بزرگ محافظت می‌کنند.

### پرداخت سطح

آیا لایه جوشکاری شده ماشینکاری می‌شود؟ سنگ زنی؟ برشکاری با شعله؟ آیا قطعه باید عملیات حرارتی شود؟ آیا تنش‌زدایی قابل قبول است؟ این سوالات باید قبل از انتخاب یک آلیاژ پاسخ داده شود. سخت‌پوشی به طور معمول سطح نهایی یک قطعه را تولید می‌کند. در صورت نیاز به سطحی صاف برای سرویس مورد نظر، امکان و اقتصادی بودن سنگ‌زنی یا ماشینکاری باید در نظر گرفته شود. برخی از آلیاژها را می‌توان عملیات حرارتی کرد تا به اندازه کافی برای ماشینکاری نرم شوند و سپس با عملیات حرارتی به سختی مناسب برای حداکثر عمر مفید بازگرداند. برخی از کاربردها، مانند خرد کردن سنگ، ممکن است عمداً فاقد صافی برای کمک به گرفتن مواد ورودی باشند. در خانواده آلیاژهای سخت‌پوشی کاربیدی، برخی از آلیاژها از نظر طراحی حساس به ترک هستند و در هنگام سرد شدن، باعث ایجاد ترک تنش‌زدایی یا ترک در لایه جوش می‌شوند.

ترک تنش‌زدایی در آلیاژ حاوی کاربید کروم.

این ترک‌ها برای جلوگیری از پوسته پوسته شدن ضروری هستند و خواص سایشی آلیاژ را ضعیف نمی‌کنند یا تحت تأثیر قرار نمی‌دهند. به طور معمول هرچه درصد کاربیدها در یک آلیاژ کمتر باشد، احتمال بروز ترک‌های تنش‌زدایی کمتر خواهد بود. اما هر چه درصد کاربید در آلیاژ کمتر باشد، مقاومت سایشی کمتری دارد.

از آنجایی که بازه آلیاژهای سخت‌پوشی از با قابلیت ماشینکاری آسان تا مشکل برای سنگ‌زنی متغیر است، باید قبل از انتخاب یک آلیاژ، پرداخت سطحی مورد نیاز تعیین شود. اغلب برای دستیابی به پرداخت سطحی مورد نیاز باید مقاومت در برابر سایش فدا شود. مشخصات محصول خاص باید بررسی شود تا اطمینان حاصل شود، که پرداخت سطحی مورد نیاز، قابل دستیابی است.

## اعمال مواد سخت‌پوشی

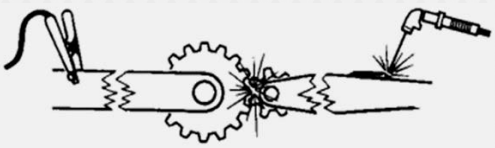
### سخت‌پوشی قوس الکتریکی

همانطور که پیش‌تر بحث شد، تعدادی از فرآیندهای جوشکاری قوس الکتریکی وجود دارد که در سخت‌پوشی مناسب هستند. این فرآیندها قوس دستی، قوس باز نیمه اتوماتیک و تمام اتوماتیک و قوس زیر پودری هستند.

یکی از واقعیت‌های مهمی که باید در هنگام سخت‌پوشی قوسی با هر یک از فرآیندهای بالا به خاطر سپرد، قرار گرفتن کابل برگشتی کار است. جوشکاری قوس الکتریکی به یک مدار الکتریکی کامل نیاز دارد، که به موجب آن جریان جوشکاری می‌تواند از منبع برق، در قوس جریان یابد و دوباره به منبع برق برگردد.

هنگامی که سخت‌پوشی روی هر دستگاهی انجام می‌شود، کابل برگشتی کار باید تا حد امکان مستقیماً روی ناحیه‌ای جوشکاری می‌شود، متصل شود. اگر این کار انجام نشود، خطر ایجاد قوس الکتریکی یا تداخل الکتریکی در سایر قسمت‌های دستگاه وجود دارد که می‌تواند باعث آسیب شدید شود.

به عنوان مثال یک تیغه بولدوزر را در نظر بگیرید، که در حالی که هنوز روی بولدوزر است، سخت‌پوشی شود. اگر کابل برگشتی کار به جای اینکه مستقیماً روی تیغه قرار گیرد به بولدوزر متصل شود، جریان جوش ممکن است از طریق یاتاقان‌ها، رول‌ها، خطوط انتقال و سایر قسمت‌های دستگاه از جمله ژنراتورها و تجهیزات کنترل عبور کند. با ایجاد قوس ثانویه در این نواحی صدمات زیادی می‌تواند به دستگاه وارد شود.



اتصال نادرست کابل برگشتی در بولدوزر می‌تواند باعث ایجاد صدمات شدید شود.

### سخت‌پوشی قوسی دستی

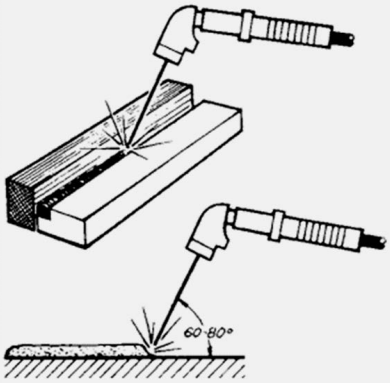
کمترین جریان جوشکاری که پایداری قوس خوبی ایجاد می‌کند باید برای رسوب‌گذاری الکترودهای سخت‌پوشی استفاده شود. آمپر بیش از حد بالا منجر به نفوذ عمیق و رقت بیش از حد رسوب می‌شود. برای نرخ رسوب بالاتر یا ضخامت رسوب بیشتر، همیشه توصیه می‌شود به جای افزایش جریان جوشکاری، الکترودهایی با اندازه بزرگتر به کار گرفته شود. میزان آمپر توصیه شده مصرفی برای هر الکترود روی بسته‌های الکترود چاپ شده‌است. اعمال الکترودهای سخت‌پوشی با استفاده از بافتی سه تا چهار برابر قطر الکترود، برای جوشکاری زیردستی عمل قابل قبولی است. برای جوشکاری عمودی، این ممکن است حتی تا دو برابر این حدود افزایش یابد، اما باید توجه داشت که فقط تعداد محدودی از الکترودهای سخت برای جوشکاری وضعیت‌های غیر مسطح مناسب هستند.

کاهش سرعت حرکت رو به جلو بین بافت‌ها، ضخامت رسوب را افزایش می‌دهد. زمانی که گرمای ورودی به حداقل می‌رسد یا زمانی که به درجه بالایی از تنش‌زدایی ترکی نیاز است، سرعت حرکت افزایش یابد.

برخی از الکترودها به دلیل تمایل این رسوبات به پوسته پوسته شدن یا ورقه‌ای شدن، برای کاربردهای چند لایه‌ای توصیه نمی‌شوند.

برای ساخت لبه یک قطعه مانند تیغه برش یا گیوتین، ممکن است یک نوار مسی یا بلوک کربنی در امتداد لبه کار قرار گیرد. این امر سرباره و فلز جوش را سرد می‌کند و یک شکل مقطع خوبی به رسوب جوش می‌دهد.

برای بیشتر سخت‌پوشی‌ها، الکترود باید در زاویه ۶۰ تا ۸۰ درجه نسبت به قطعه کار نگه داشته شود. این عمل به رسوب شکل خوبی می‌دهد و امکان کنترل کافی فلز مذاب را فراهم می‌کند.




زاویه مناسب الکترود در فرایند سخت‌پوشی.

لازم به یادآوری است، که اکثر الکترودهای سخت‌پوشی به شیوه‌ای متفاوت با انواع جوشکاری سازه‌ای به کار گرفته می‌شوند. تمام الکترودهای لوله‌ای سخت‌پوشی دارای انتقال کروی هستند که در به حداقل رساندن رقت رسوب کمک می‌کند. همچنین اکثر انواع آلیاژی با درصد عناصر بالاتر پوشش سرباره کاملی روی جوش ایجاد نمی‌کنند. در بسیاری از این موارد، انجام عملیات چند لایه‌ای بدون حذف بقایای سرباره از کاراهای قبلی امکان‌پذیر است.

### سخت‌پوشی قوس باز نیمه خودکار

بیشتر جزئیات مربوط به جریان‌های جوشکاری، تکنیک‌های بافت و ... همانطور که برای جوشکاری قوس دستی مورد بحث قرار گرفت در این فرآیند اعمال می‌شود.

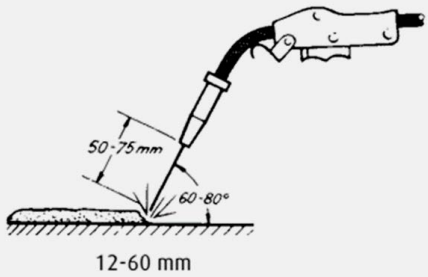
به طور کلی، آمپر به نسبت بالا برای جوشکاری قوس باز استفاده می‌شود و بر این اساس نرخ گرمای ورودی بالاتر از جوشکاری قوس دستی است. به همین دلیل لازم است، زمانی که باید حرارت ورودی کم

نگه داشته شود، از سرعت‌های حرکت بالا با بافت بسیار کم یا بدون بافت استفاده شود. برای کار روی قطعات کوچک فولاد ۱۱ تا ۱۴ درصد منگنز، جایی که حجم فلز پایه کافی برای اتلاف سریع گرما وجود ندارد، پاشش مکرر آب توصیه می‌شود.

برای اکثر کارها، باید از یک بیرون زدگی سیم از سر نازل (Stick out) ۱۲ تا ۶۰ میلی‌متری بسته به اندازه سیم استفاده شود. سیم باید در زاویه ۶۰ تا ۸۰ درجه نسبت به قطعه کار نکه داشته شود و کوتاه‌ترین طول قوس مطابق با شرایط قوس پایدار استفاده شود. جوشکاری قوس باز برای وضعیت جوشکاری بد تراز چندان مناسب تلقی نمی‌شود و به همین دلیل باید تا حد امکان تمامی کارها به صورت زیر دستی انجام شود.

باید مراقب بود که غلتک‌های رانش سیم روی کشش صحیح تنظیم شوند تا رانش مثبت ایجاد شود اما نه آنقدر محکم که ممکن است سیم را تغییر شکل دهد.

تمام مجراها از غلتک‌های رانش تا مشعل باید تا حد امکان صاف و بدون پیچش، مارپیچی یا تاب‌خوردگی که با تغذیه سیم را مختل کند، نگه داشته شود. نقاط تماس و ... باید تمیز و عاری از تجمع بیش از حد باشد.




زاویه مناسب جوشکاری و مقدار مناسب بیرون‌زدگی سیم از سر نازل.

بسیاری از سیم‌های سخت‌چوشی قوس باز، زمانی که در شرایط جوشکاری مشخص‌شده استفاده می‌شوند، یک نوع انتقال مواد کروی مشخص دارند. این امری طبیعی و مطلوب است. افزایش جریان یا ولتاژ برای دستیابی به انتقال اسپری مشابه با جوش MIG توصیه نمی‌شود زیرا رقت بیش از حد رسوب رخ می‌دهد و منجر به کاهش مقاومت در برابر سایش می‌شود.

بیشتر سیم‌های توپودری آلیاژی با درصد عناصر بالاتر پوشش سرباره‌ای ناقص جوش را ایجاد می‌کنند. این امر طبیعی است و اغلب می‌توان کار چند لایه‌ای را بدون حذف باقیمانده از پاس‌های قبلی انجام داد.

### سخت‌پوشی قوس باز خودکار

این فرآیند تقریباً مشابه نوع قوس باز نیمه خودکار است با این تفاوت که مشعل جوشکاری روی یک نگه‌دارنده نصب می‌شود تا امکان کنترل مکانیکی را فراهم کند.

مشعل جوشکاری که ممکن است تا حدودی از نظر ساخت با آن‌هایی که برای فرآیند نیمه خودکار استفاده می‌شود متفاوت باشد، ممکن است ثابت باشد، که کار به صورت مکانیکی زیر آن حرکت کند، مشعل کنترل شود و روی قطعه کار ثابت حرکت کند، یا ترکیبی از هر دوی این موارد.

در بیشتر موارد، دستگاه طوری تنظیم می‌شود، که زاویه ای حدود ۷۵ درجه بین سیم و کار ایجاد کند.

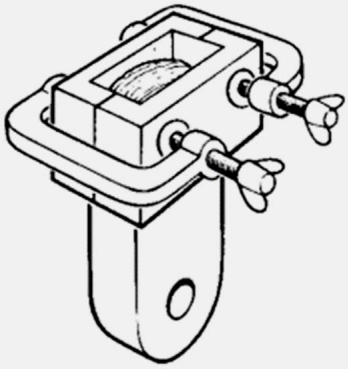
### سخت‌پوشی زیرپودری خودکار

در سخت‌پوشی زیر پودری، قوس الکتریکی در طول شکاف بین سیم و کار زیر پوششی از فلاکس دانه‌بندی شده حرکت می‌کند. افزودنی‌های آلیاژی لازم برای یک رسوب سخت ممکن است از سیم جوش حاصل شود، که در این صورت از یک فلاکس محافظ خنثی استفاده می‌شود یا اینکه از

سیم پرکننده فولادی ملایم استفاده می‌شود و آلیاژها از طریق یک فلاکس فرموله‌شده خاص وارد می‌شوند. هنگام استفاده از سیم آلیاژی و فلاکس خنثی، ویژگی‌های رسوب از نظر سختی و مقاومت در برابر سایش تحت تأثیر تغییرات جزئی در شرایط جوشکاری قرار نمی‌گیرد.

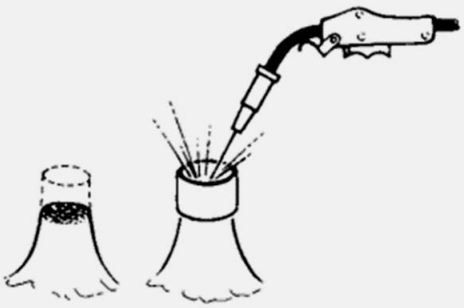
### ریخته‌گری جوش

جوشکاری قوس دستی یا نیمه خودکار قوس باز را می‌توان با موفقیت برای اعمال رسوبات سنگین سخت‌پوشی با تکنیک ریخته‌گری جوش استفاده کرد.این عمل اغلب برای بازسازی قطعاتی مانند چکش‌های آسیاب یا رسوب‌گذاری لایه‌های سایشی سنگین روی قطعات بزرگ استفاده می‌شود.
برای اکثر کارها، یک قالب مسی دو تکه سنگین ساخته می‌شود، که در اطراف منطقه‌ای که قرار است ساخته شود، منطبق می‌شود. این قالب را می توان پس از جوشکاری از جدا کرد. برای لایه‌های سایش، ممکن است یک قالب با جوش دادن یک سری مهره های رشته‌ای روی یک‌دیگر برای تولید سدی با ارتفاع مورد نیاز، تولید شود. از طرف دیگر، ممکن است یک لوله گرد یا مربع با طول کوتاه روی کار خال جوش شود تا به عنوان قالب عمل کند.سپس با استفاده از یک الکترود قوس دستی معمولی یا سیم پیوسته تحت شرایط آمپر بالا، مواد سخت‌پوشی به طور مستقیم به داخل قالب ریخته‌گری می‌شوند. رسوب به دست‌آمده دارای یک ساختار همگن سالم و بدون تنش‌زدایی ترکی و بدون تمایل به پوسته پوسته شدن یا ورقه‌ای شدن خواهد بود.



شمایی از قرارگیری قالب مسی هنگام بازسازی چکش به روش ریخته‌گری جوش.

جوشکاری قوس باز نیمه خودکار فرآیند مناسب‌تری برای ریخته‌گری جوش است، که دلیل آن تغذیه پیوسته سیم است که باعث جوشکاری بی‌وقفه و حجم کم سرباره تولیدی می‌شود. الکترودهای قوس دستی با قطر بزرگتر، به عنوان مثال ۵ میلی‌متر و بالاتر نتایج خوبی را به همراه خواهد داشت، مشروط بر اینکه تعویض الکترودها به نسبت سریع باشد. ریخته‌گری جوش را می‌توان برای تولید رسوبات تا ۱۵۰ سانتی‌متر مکعب بدون هیچ مشکلی با استفاده از تکنیک‌های الکترودهای قلمی یا سیمی، استفاده کرد.
پس از قرار دادن قالب در محل مورد نیاز، قوس روی فلز پایه زده می‌شود و در سریع‌ترین زمان ممکن روی بیشتر قسمتی که قرار است پوشانده شود، بافت ایجاد می‌شود. سپس الکترود یا سیم به سرعت در بالای فلز جوش در نوسان قرار می‌گیرد و در نتیجه گرما را تا حد امکان یکنواخت نگه می‌دارد. وقتی قالب پر شد، تمام سطح باید در اثر حرارت به رنگ قرمز روشن تا سفید باشد. با تکنیک مناسب و مقداری هم‌زدن با الکترود، تمام سرباره‌ها باید در بالای فلز جوش شناور شوند و رسوب متراکم سالمی ایجاد کنند.
به دلیل گرمای ورودی بالا، ریخته‌گری جوش برای استفاده در فولادهای ۱۱-۱۴ درصد منگنز توصیه نمی‌شود. همچنین در مقاطع سبک خطر اعوجاج بیش از حد در اطراف لایه جوش وجود دارد.



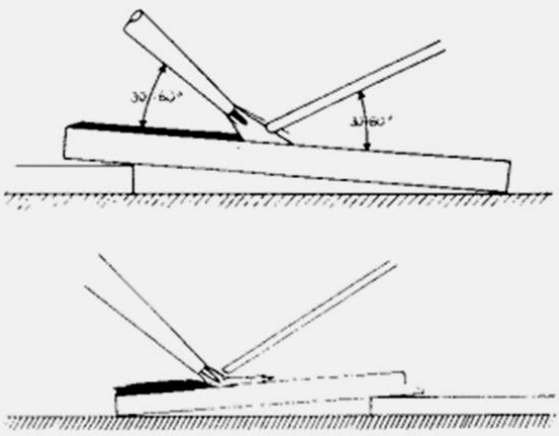
ریخته‌گری جوش با استفاده از فرایندهای
نیمه‌خودکار با سیم‌جوش قوس باز.

## سخت‌پوشی گازی

### لایه‌نشانی میله‌ای

عمل سخت‌پوشی با رسوب‌گذاری میله‌ای را می‌توان از بسیاری جهات به لحیم‌کاری سخت تشبیه کرد. در زیر یک راهنمای گام به گام برای توالی عملیات لازم برای انجام موفقیت آمیز عملیات سخت‌پوشی ارائه شده‌است. این دستورالعمل می‌تواند برای همه سخت‌پوشی‌های میله‌ای گازی به جز میله‌های کامپوزیتی استفاده کرد.

- سطوح باید از هرگونه آلودگی، زنگ زدگی و ... تمیز شوند. برای رسوبات در امتداد لبه‌ها، یک فرورفتگی مانند شکل زیر آماده کنید.
- در صورت لزوم، پیش‌گرمایش کار را تا سطح مورد نیاز - به صفحه ۸ مراجعه کنید.
- استفاده از قلم یک یا دو اندازه بزرگتر از اندازه معمولی قلم برای جوشکاری یک مورد با اندازه مشابه. تنظیم جریان گاز برای تولید یک شعله نرم ۲ تا ۳ برابری شعلع کربوره
- تنظیم کار را با یک شیب ملایم در سرازیری برای رسوبات نازک یا یک شیب ملایم سربالایی برای رسوبات ضخیم
- در حالی که مخروط داخلی شعله در حدود ۳ میلی‌متر از سطح کار فاصله دارد، در شروع کار، ناحیه کوچکی را گرم کنید تا سطح شروع به عرق کردن کند، یعنی ظاهری مرطوب به خود بگیرد. میله باید در هاله شعله نگه داشته شود تا انتهای آن پیش‌گرمایش شود.
- هنگامی که عرق سطحی در ناحیه‌ای به قطر حدود ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر به دست آمد، انتهای میله را روی ناحیه تعریق لمس کنید و قسمت کوچکی از آن را با شعله ذوب کنید. سپس میله را کمی از مخروط داخلی دور کنید و گلوله رسوب‌گذاری شده از مواد سخت‌پوشی را حرارت دهید تا به طور یکنواخت روی سطح تا رسیدن به ضخامت لازم جریان یابد.
- با توجه به اینکه سطح پیش‌روی فلز رسوب‌گذاری شده عرق می‌کند، میله را در لبه جلوی حوضچه مذاب رسوب‌شده پایین بیاورید و با پیشروی عملیات سطح‌پوشی، ماده بیشتری اضافه کنید. هنگامی که یک مرحله کامل شد، شعله را به آرامی از سطح با استفاده از یک حرکت دایره‌ای خفیف دور کنید. این عمل هر گونه چاله جوشی که ممکن است در پایان یک مرحله ایجاد شود را کاهش می‌دهد.
- هنگامی که رسوب کامل شد، لبه‌ها، گوشه‌ها و ... ممکن است دوباره ذوب شوند تا صاف شدن سطح را تسهیل کند.
- کار تکمیل‌شده را به آرامی خنک کنید.



شمایی از لایه‌نشانی میله‌ای.

### نکته برای سخت‌پوشی چدن‌ها

از آنجایی که چدن در هنگام حرارت دادن عرق نمی‌کند، مانند فولاد، ذوب سطحی کمی ضروری است. باید مراقب بود که چدن بیش از حد گرم نشود زیرا باعث رقت بیش از حد آلیاژ سخت‌پوشی می‌شود. هر پوسته سطحی که تشکیل می‌شود باید با انتهای میله شکسته شود. رسوب‌گذاری نازک در مرحله اولیه و به دنبال آن رسوب دوم سنگین‌تر مطلوب است. استفاده از فلاکس جوشکاری چدن نیز ممکن است سودمند باشد.

## پاشش پودری

### روش مشعل دستی

با پیروی از رویه گام به گام ساده که در زیر توضیح داده شده‌است، حتی اپراتورهای بی تجربه نیز می‌توانند با کمی تمرین به نتایج خوبی دست یابند.

۱ حصول اطمینان از اینکه سطح مورد عملیات به طور کامل تمیز و چربی زدایی شده باشد. سنگ زنی یا سندبلاست به ایجاد اتصال بهتر کمک می‌کند.

۲ پیش‌گرمایش سبک کار با مشعل در حدود دمای ۲۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد.

۳ پاشش سبک و سریع لایه اول پودر روی سطح اسپری؛ تا یک پوشش بسیار نازک از آلیاژ ایجاد شود. این کار برای جلوگیری از اکسید شدن مواد پایه کم آلیاژ زمانی است، که کار به حرارت قرمز می رسد.

۴ اجرای سخت‌پوشی در قسمت‌های کوچک: قسمت کوچکی از کار را با مشعل حرارت دهید تا سطح شروع به نشان دادن علائم تعریق کند، سپس مقدار کمی پودر روی سطح اسپری کنید و شعله را در آنجا نگه دارید تا مواد ذوب شود. این روش را در طول کار تکرار کنید. برای سطوح بزرگ، عمل بافت با حرکت بین ۲۵ تا ۳۵ میلی‌متر توصیه می شود. پودر را روی حرکت به سمت بیرون بافت وارد کنید، سپس حرارت را به تنهایی روی حرکت به سمت داخل اعمال کنید. سعی نکنید یک منطقه بیش از حد بزرگ را به یکباره گرم کنید، زیرا این کار باعث گرم شدن بیش از حد کار و جوشیدن و حباب زدن رسوبات سخت‌پوشی می‌شود.

عمق رسوب توسط مقدار پودر واردشده به شعله کنترل می‌شود. میزان عقب رفتن اهرم جریان پودر را تعیین می‌کند. عقب رفتن کم، جریان کمی ایجاد می‌کند، عقب رفتن کامل حداکثر جریان را می‌دهد. از شعله خنثی استفاده کنید.

## پاشش تفنگی

روش پاشش تفنگی بسته به نوع تجهیزات مورد استفاده، به طور قابل توجهی متفاوت است. موارد زیر فقط یک راهنمای مختصر است و باید در ارتباط با توصیه‌های سازنده تفنگ استفاده شود.

۱ سطح را با رزوه کشی خشن یا ذره پاشی آماده کنید. مهمتر از همه این است، که سطح آن عاری از روغن، کثیفی و ... باشد. در نتیجه نباید از روان‌کننده‌های ماشینکاری استفاده کرد و ذرات بلاستینگ باید تمیز و بدون آلودگی باشد.

۲ کار را در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد پیش‌گرمایش کنید. این عمل به طور کلی زمانی که کار در موقعیت خاصی است انجام می‌شود، به عنوان مثال چرخیدن در ماشین تراش. شعله تفنگ پاشش اغلب برای پیش‌گرمایش استفاده می‌شود.

۳ با جریان گاز، سرعت سطحی کار و شیرهای اندازه‌گیری پودر مطابق توصیه‌های سازنده تجهیزات، تنظیم می‌شود، شیر کنترل پودر را باز کرده و شروع به پاشش کنید. به پاشش ادامه دهید تا به ضخامت مورد نیاز به علاوه مقدار مجاز ماشینکاری و در حدود ۱۵ درصد انقباض ذوب، ساخته شود.

۴ از آنجایی که لازم است دمای سطح در طول پوشش محدود شود، ممکن است پاشش متناوب ضروری باشد.

تفنگ پاشش را دور کنید و با استفاده از یک مشعل حرارتی چند سوراخه که برای ایجاد شعله نرم و خنثی تا کمی کاهنده تنظیم شده‌است، رسوب را ذوب کنید. عمل معمولی این است، که کار را تا ۴۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد پیش‌گرمایش کنید، سپس مشعل حرارتی را در فاصله ۲۵ تا ۵۰ میلی‌متر از سطح قرار دهید. هنگامی که رسوب به درستی ذوب شود، ظاهری مرطوب و براق به خود می‌گیرد.

اجازه دهید کار به آرامی خنک شود.

## عوامل سایش

سایش قطعات فلزی ممکن است به عنوان زوال یا از کارافتادگی تدریجی فلز تعریف شود. هنگامی که یک قطعه به قدری تغییر شکل می‌دهد که نمی‌تواند عملکرد مناسبی داشته باشد، باید تعویض یا بازسازی شود. در حالی که نتایج نهایی سایش مشابه است، علل سایش متفاوت است. قبل از انتخاب محصول سخت‌پوشی، شناخت عوامل سایش ضروری است.

اگر تمام قطعات فلزی فقط در معرض یک نوع سایش قرار گیرند، انتخاب یک آلیاژ سخت‌پوشی آسان خواهد بود. با این حال، یک قطعه فلزی به طور معمول با ترکیب دو یا چند نوع سایش ساییده می‌شود. این امر انتخاب آلیاژ را بسیار پیچیده‌تر می‌کند.

یک آلیاژ سخت‌پوشی باید بر اساس تعادلی بین هر عامل سایش انتخاب شود. تمرکز اولیه باید بر عامل اولیه سایش باشد و سپس عامل(های) ثانویه سایش باید بررسی شود. به عنوان مثال: با بررسی یک قطعه فلزی ساییده‌شده مشخص می‌شود که عامل اولیه سایش، خراشیدن و عامل ثانویه سایش، ضربه سبک است. آلیاژ سخت‌پوشی انتخاب‌شده باید مقاومت سایشی بسیار خوبی داشته باشد، اما در مقابل ضربه نیز مقاومت مناسبی داشته باشد.

**پنج نوع اصلی سایش وجود دارد:**

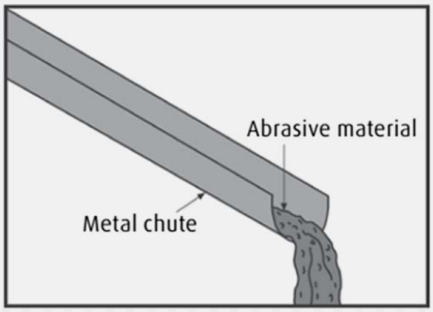
- خراشان (۳ دسته)

- ضربه
- دما بالا
- چسبان
- خورنده

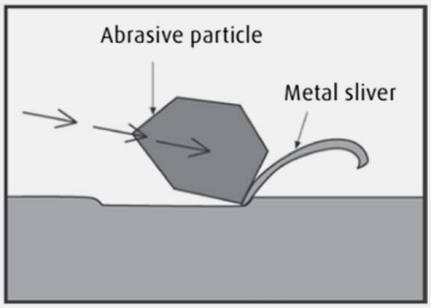
۱ **سایش خراشان** - سایش خراشان ناشی از مالش مواد خارجی به قطعه فلزی است. ۵۰ تا ۶۰ درصد کل سایش قطعات فلزی صنعتی را به خود اختصاص می‌دهد.

سایش خراشان در واقع گروهی از مشکلات سایش است. می توان آن را به سه دسته اصلی تقسیم کرد:

**الف)** سایش خراشی تحت تنش کم - به طور معمول کم شدت‌ترین نوع سایش، قطعات فلزی از طریق حرکت مالش سخت مکرر ذرات سخت و تیز که روی سطح فلز با سرعت‌های مختلف حرکت می‌کنند، ساییده می‌شوند. سرعت، سختی، تیزی لبه، زاویه ورود و اندازه ذرات ساینده، همگی روی میزان سایش اثر می‌گذارند.




سایش ناشی از خراشیدن تحت تنش کم، لغزش مواد ساینده به آرامی سطح فلز را خراش می‌دهد و به تدریج آن را می‌ساید.



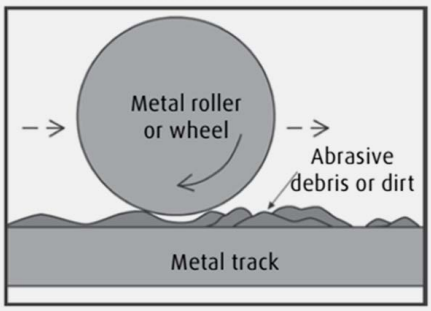

طرح‌واره مقطع عرضی نشان می‌دهد، که چگونه یک دانه ساینده متحرک، یک تکه باریک (تراشه) فلز را خراش می‌دهد.

آلیاژهای حاوی کاربید (به ویژه کاربید کروم) با موفقیت برای مقاومت در برابر سایش خراشان تحت تنش کم استفاده می‌شوند. به دلیل عدم وجود ضربه، آلیاژهای به نسبت شکننده فولاد کروم دار با کربن بالا برای کاربردهای سایش خراشان تحت تنش کم مناسب هستند. قطعات شاخصی که در معرض سایش خراشان تحت تنش کم قرار می‌گیرند عبارتند از: ادوات کشاورزی، الک‌های دانه‌بندی، سرندها، نازل پمپ‌های دوغاب، ماسه پرت کن‌ها و ناودان‌ها.

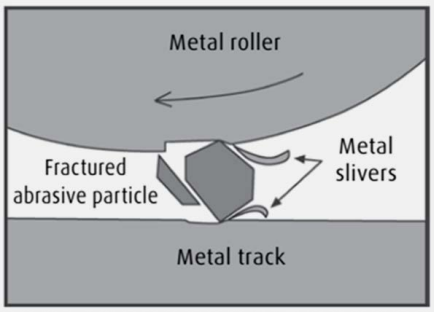
**ب)** سایش آسیابی تحت تنش بالا - شدیدتر از خراشیدن ساده، زمانی ایجاد می‌شود که ذرات ساینده سخت کوچک با نیروی کافی به یک سطح فلزی فشار وارد می‌کنند، که ذره در یک حالت آسیاب کردن له شود. اغلب نیروی فشاری توسط دو جزء فلزی و مواد ساینده که بین این دو قرار می‌گیرد تامین می‌شود که گاهی اوقات به عنوان سایش سه جانبه نیز نامیده می‌شود. روی سطح خط انداخته می‌شود و ترک خوردگی سطحی ممکن است رخ دهد.

نمونه‌هایی از آلیاژهای چقرمه‌تر وجود دارد، که در کاربردهای سایش آسیابی از آلیاژهای سخت‌تر

عملکرد بهتری دارند. طیف وسیعی از آلیاژها شامل منگنز آستنیتی، مارتنزیتی و برخی آلیاژهای حاوی کاربید (به طور معمول کاربیدهای کوچک‌تر، مانند کاربید تیتانیوم) در یک زمینه چقرمه، با موفقیت مورد استفاده قرار می‌گیرند.



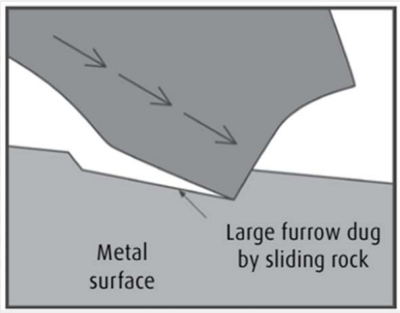

سایش ناشی از آسیاب کردن تحت تنش بالا، دو جزء فلزی مواد ساینده را بین خود فشرده می‌کنند و به ذرات کوچک‌تر خرد می‌کنند.



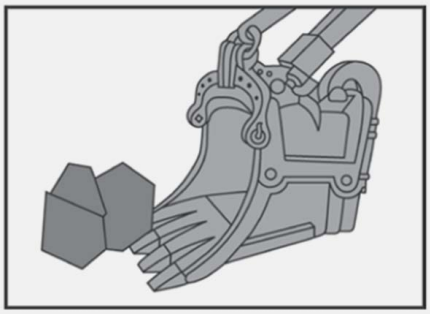

طرح‌واره مقطع عرضی، شکستن یک ذره ساینده به قطعات گوشه‌تیز کوچکتر که شیارهای کوچکی را در سطح هر دو فلز ایجاد می‌کند، نشان می‌دهد.

قطعات شاخصی که در معرض سایش آسیابی تحت تنش بالا قرار می‌گیرند عبارتند از: مارپیچ‌ها، تیغه‌های خراش‌دهنده، پودر کننده‌ها، آسیاب‌های گلوله‌ای و میله‌ای، لاستیک‌های مخلوط کن غلتکی (مولر)، کاسه ترمز، غلتک سنگ شکن‌ها، غلتک‌ها، چرخ دنده‌ها و پاروهای مخلوط کن.

**پ) سایش کندگی** - هنگامی که سایش تحت تنش بالا یا تنش کم با درجاتی از ضربه و سنگینی بار همراه باشد، سایش حاصله می‌تواند شدید باشد. زمانی که اجسام عظیم (اغلب سنگ) به سطح فلز نیروی فشاری وارد می‌کنند، کندگی‌ها و شیارهای قابل توجهی روی سطح فلز ایجاد می‌شود. یک مثال با سرعت کم در این مورد، یک باکت دراگلاین است، که در زمین فرو می‌رود. یک مثال با سرعت بالا خرد کردن سنگ است. در هر دو مورد، عمل مواد بر روی فلز شبیه به ابزار برش است.



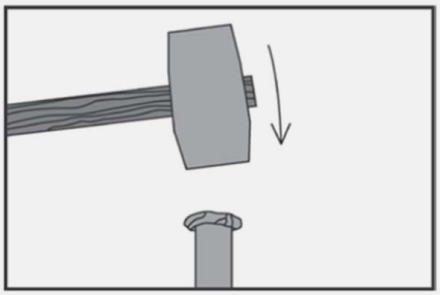

طرح‌واره مقطع عرضی نشان می‌دهد، که سنگ‌های سنگین چگونه سطح فلز را دچار کندگی یا فرورفتگی می‌کند. شیار نتیجه جریان پلاستیک ناخالص در فلز است.



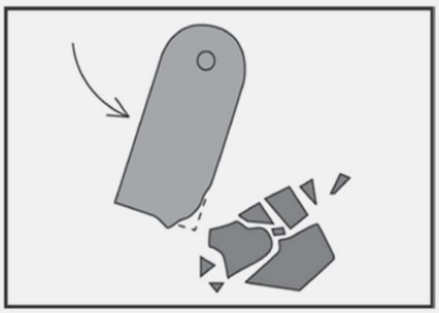
سایش ناشی از کندگی، وزن سنگ با نیرویی با سرعت کم بر روی فلز ضربه می‌زند و سطح فلز را برش می‌دهد.

در بعضی مواقع سایش کندگی نیز چقرمگی را نسبت به ارزش آلیاژهای سخت‌تر و مقاوم‌تر در برابر سایش در جایگاه بالاتری قرار می‌دهد. آلیاژهای حاوی کاربید زمانی با موفقیت مورد استفاده قرار می‌گیرند که توسط یک آلیاژ چقرمه ،ترجیحا منگنز آستنیتی، پشتیبانی شوند. قطعات شاخصی که در معرض سایش کندگی قرار می‌گیرند عبارتند از: باکت‌های دراگلاین، باکت‌های بیل مکانیکی، باکت‌های منقاری، سنگ شکن‌های دوار، سنگ شکن‌های غلتکی و سنگ شکن‌های فکی.

۲ **سایش ضربه‌ای** - ضربه، که به عنوان اعمال سریع یک بار فشاری تعریف می‌شود، باعث ایجاد تنش مکانیکی لحظه‌ای شدید روی یک قطعه فلزی می‌شود. هنگامی که تنش از حد الاستیک فلز فراتر می‌رود، فلز هم در نقطه تحت فشار و هم به صورت جانبی در سراسر سطح به دور از نقطه ضربه تغییر شکل می‌دهد.



سایش ناشی از ضربه، ایش در اثر ضربه به راحتی روی یک اسکنه مشاهده می‌شود، جایی که ضربات مکرر چکش به تدریج قسمت بالای اسکنه را تغییر شکل می‌دهد، در نتیجه لبه‌ها ترک می‌خورد و رویه مانند سر قارچ پهن می‌شود.



"قارچی شکل شدن" مشابهی روی تجهیزاتی مانند چکش‌های سنگ‌شکن اتفاق می‌افتد، با این تفاوت که لبه بیرون‌آمده در واقع می‌تواند با برخورد به سنگ از بین برود.

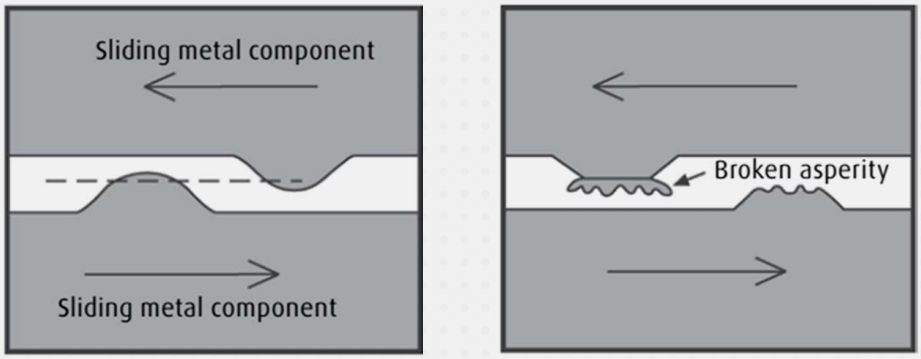
فلز بسیار ترد نمی‌تواند تغییر شکل زیادی را تحمل کند، بنابراین ممکن است در اثر ضربه شدید یا ضربه‌های سبک‌تر مکرر ترک بخورد. حتی اگر فلز به اندازه‌ای انعطاف‌پذیر باشد که از ترک خوردن جلوگیری کند، ضربه‌های مکرر اغلب سطح را فشرده می‌کند و گاهی اوقات باعث می‌شود که فلز در لبه‌ها «قارچی شکل» شود و در نهایت کنده شود.

فولادهای آستنیتی منگنز دار (۱۱ تا ۲۰ درصد منگنز) به دلیل ویژگی‌های کار سخت شدن خود، بهترین انتخاب برای مقاومت در برابر ضربه‌های سنگین هستند. آلیاژهای مارتنزیتی نیز مقاومت متوسطی در برابر ضربه دارند، اگرچه به خوبی منگنز آستنیتی نیستند.

قطعات شاخصی که در معرض ضربه قرار می‌گیرند عبارتند از: جعبه‌های کوپلینگ، غلتک‌های سنگ شکن، چکش‌های ضربه زن، میله‌های ضربه زن، و سوزن‌ها و گذرگاه‌های راه آهن.

۳ **سایش چسبان (فلز به فلز)** - سایش فلز به فلز که ۱۵ درصد کل سایش را تشکیل می‌دهد، ناشی از اصطکاک روانکاری نشده قطعات فلزی است. سطوح فلزی، صرف نظر از پرداخت نهایی آن‌ها، از پستی و بلندی‌های میکروسکوپی تشکیل شده‌اند. همانطور که سطوح فلزی روی یک‌دیگر می‌لغزند، نواحی مرتفع شکسته می‌شوند و تکه‌های ریز فلز پاره می‌شوند. حذف مداوم فلز سطح کار را زبر

می‌کند و به سایش سریع‌تر کمک می‌کند.




سایش ناشی از چسبندگی، قطعات فلزی لغزنده دارای نواحی برجسته یا زبری کوچکی تحت عنوان ناصافی خشن هستند، که با هم برخورد می‌کنند.

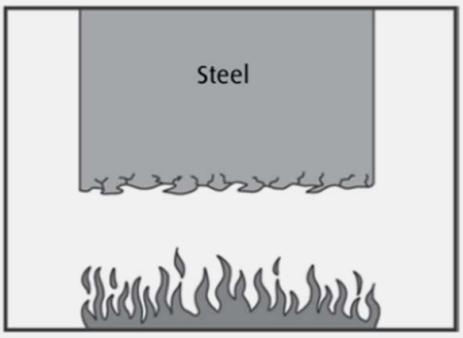
تماس تحت گرما و فشار باعث می‌شود که فلز جریان یابد و به صورت لحظه‌ای تحت «جوش سرد» اتصال برقرار کند. هنگامی که نیروی حرکت ناصافی‌های خشن جوش سرد شده را می‌شکنند، فلز دندانه‌دار از یک سطح به سطح مقابل متصل می‌ماند و سایش را تسریع می‌کند.

آلیاژهای سخت‌پوشی مارتنزیتی انتخاب خوبی برای مقاومت در برابر سایش فلز به فلز هستند. آلیاژهای دیگر، از جمله آلیاژهای منگنز آستنیتی و آلیاژهای پایه کبالت نیز با موفقیت مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجایی که آلیاژهای نرم‌تر که با سطح سخت‌تر متصل شده‌اند، به سرعت ساییده می‌شوند، برای مقاومت در برابر سایش چسبان، هنگام سخت‌پوشی، مهم است که یک قطعه را بیش از حد مقاوم نکنید.

قطعات شاخصی که در معرض سایش چسبان قرار می‌گیرند عبارتند از: غلتک‌های آسیاب فولادی، اجزای زیر و بند، تیغه‌های برشی، شفت‌ها، سطوح روانکاری نشده سر محورها و بلبرینگ.

**سایش دما بالا** - سطوح فولادی که برای مدت طولانی در معرض دمای بالا قرار می‌گیرند، می‌توانند به طور پیوسته دچار زوال شوند. گرما بر ریزساختار فلز تأثیر می‌گذارد و به طور کلی دوام آن را کاهش می‌دهد. مقاومت در برابر سایش بیشتر آلیاژها به دلیل کار نرمی در اثر تمپرینگ ناخواسته، هنگام قرار گرفتن در معرض حرارت زیاد در حین کار، کاهش می‌یابد.

یکی از دلایل اصلی خرابی فلزات ناشی از شرایط کاری در دمای بالا، خستگی حرارتی («ترک خوردگی آتشی») است، که از گرمایش شدید مکرر و به دنبال آن سرمایش سریع، ناشی می‌شود. چرخه‌های مکرر در نهایت از توانایی فلز فراتر می‌رود.

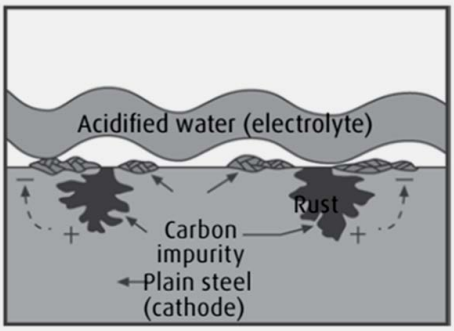



سایش ناشی از اکسیداسیون دما بالا، دماهای بالا که در کاربردهای خاص با آن مواجه می‌شوند می‌توانند باعث ترک خوردن و پوسته پوسته شدن سطح شوند.

فولادهای مارتنزیتی حاوی ۵ تا ۱۲ درصد کروم به طور گسترده برای مبارزه با خستگی حرارتی استفاده می‌شود. بسیاری از آلیاژهای کروم-کاربید مقاومت سایشی خود را تا دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد حفظ می‌کنند. شرایط سرویس بیش از این دما به طور معمول به آلیاژ غیر آهنی نیاز دارد.

**سایش خورنده** - فلزات آهنی در معرض انواع مختلفی از خوردگی هستند، که هر یک می‌تواند باعث آسیب سایشی شود. رایج‌ترین نوع خوردگی زنگ زدگی است. زنگ سطح فلز را به اکسید تبدیل می‌کند که در نهایت به صورت ورقه‌ای کنده می‌شود و در نتیجه ضخامت اصلی فلز کاهش می‌یابد.

خوردگی در ارتباط با سخت‌پوشی به طور معمول یک عامل سایش ثانویه است. اگرچه بسیاری از آلیاژهای سخت‌پوشی میزان مشخصی محافظت در برابر خوردگی را ارائه می‌دهند، انتخاب یک آلیاژ سخت‌پوشی برای یک سرویس خورنده خاص باید به عنوان یک موضوع جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.




سایش ناشی از خوردگی مایع، هنگامی که آب با فولاد تماس می‌یابد، سلول‌های الکتریکی کوچکی راه اندازی می‌شوند. رطوبت اسیدی شده (الکترولیت) به سطح فولاد حمله می‌کند و به تدریج آن را به اکسید تبدیل می‌کند.

## طبقه‌بندی آلیاژهای سخت‌پوشی

محصولات برای سخت‌پوشی در دو دسته پایه آهنی و غیرآهنی طبقه بندی می‌شوند. آلیاژهای پایه آهن با اختلاف بیشترین استفاده از آلیاژهای سخت‌پوشی را ارائه می‌دهند و با جزئیات بیشتر مورد بحث قرار خواهند گرفت. آلیاژهای سخت‌پوشی پایه آهن را می‌توان بر اساس فاز متالورژیکی یا ریزساختارشان تقسیم‌بندی کرد، که هر نوع در برابر اشکال خاصی از سایش بهتر و/یا اقتصادی‌تر از سایرین مقاومت می‌کند. برای ساده سازی، طبقه‌بندی‌های مختلف به سه خانواده اصلی آلیاژ گروه‌بندی می‌شود:

آ) آلیاژهای آستنیتی

ب) آلیاژهای مارتنزیتی

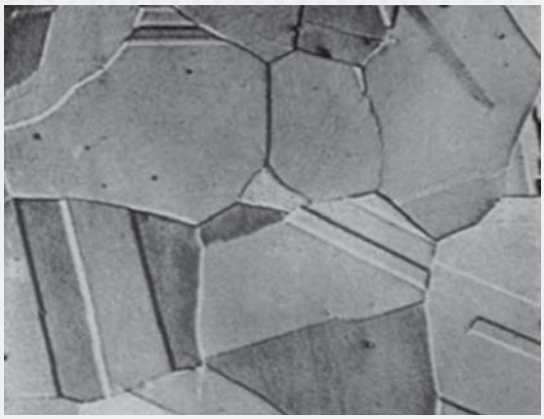
پ) آلیاژهای کاربیدی

در هر خانواده محصولاتی وجود دارند، که خواص خانواده آلیاژی اصلی را با خواص مشترک خانواده آلیاژی دیگر ترکیب می‌کنند. این محصولات یا برای مقاومت در برابر دو نوع سایش به طور همزمان، توسعه یافته‌اند یا ویژگی‌های مطلوب خاصی را در خود جای می‌دهند.

**آلیاژهای سخت‌پوشی آستنیتی:**

- مقاومت عالی در برابر ضربه
- مقاومت در برابر سایش به نسبت خوب
- آلیاژ خوب بیلدآپ

آلیاژهایی که ریزساختار آستنیتی را در دمای اتاق حفظ می‌کنند، آستنیتی نامیده می‌شوند. آن‌ها با ترکیبات ۰/۵ تا بیش از ۱ درصد کربن و از حدود ۱۳ تا ۲۰ درصد آلیاژ (به طور عمده منگنز، با درصد کمی نیکل و/یا کروم) به طور معمول، شبیه به فلزات پایه قرین خود، به عنوان فولادهای «منگنز آستنیتی» یا «منگنز هادفیلد» شناخته می‌شوند. این آلیاژها برای مطابقت (یا فراتر از) خواص فلزات پایه منگنز هادفیلد طراحی شده‌اند. آن‌ها به طور گسترده برای بازسازی به عنوان یک سطح نهایی و قبل از پوشش آلیاژهای کاربید بر روی فلزات پایه فولاد آستنیتی منگنز دار استفاده می‌شوند.



تصویر میکروسکوپی آستنیت.

آلیاژهای آستنیتی تا حدود ۰/۷ درصد کربن و ۲۰ تا ۳۰ درصد آلیاژ (به طور معمول در حدود درصدهای مساوی منگنز و کروم با مقداری نیکل) آستنیت پایداری را حتی در شرایط رقت زیاد روی فولادهای کربنی و کم آلیاژ فراهم می‌کنند. این امر آن‌ها را به انتخاب بسیار بهتری نسبت به آلیاژهای منگنز آستنیتی برای پوشش روی فولادهای کربنی و کم آلیاژ یا برای اتصال غیر مشابه منگنز به فولادهای کربنی یا کم آلیاژ تبدیل می‌کند.

اغلب آلیاژهای سخت‌پوشی آستنیتی بسیار چقرمه، شکل‌پذیر و قابل کارسختی هستند. آن‌ها مقاومت بسیار خوبی در برابر ضربه، مقاومت به نسبت خوب در برابر سایش (که با کارسختی بهبود می‌یابد) ارائه می‌کنند و هیچ تنش‌زدایی ترکی ندارند. این آلیاژها به طور معمول تا سختی سطحی ۵۰ راکول C کارسخت می‌شوند و اگرچه این امر مقاومت سایشی آنها را بهبود می‌بخشد، اما همچنان مقاومت ضربه خوب خود را حفظ می‌کنند. رسوبات سخت‌پوشی آستنیتی، مانند فلزات پایه منگنز آستنیتی، نباید برای مدت طولانی در معرض دمای بیش از ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گیرند تا شکنندگی به حداقل برسد.

**آلیاژهای سختپوشی مارتنزیتی:**

- مقاومت در برابر ضربه خوب
- مقاومت در برابر سایش به نسبت خوب
- مقاومت خوب در برابر سایش فلز به فلز
- هم برای ساخت و هم برای روکش استفاده می‌شود.

مارتنزیت یک فاز ریزساختاری سخت است، که در فولادها با سرمایش سریع تشکیل می‌شود. از آنجایی که آلیاژهای مارتنزیتی قابلیت سخت شدن در هوا را دارند، سرعت سرمایش نقش مهمی در سختی نهایی دارد؛ سرمایش سریع‌تر به طور معمول منجر به رسوبات سخت‌پوشی سخت‌تر می‌شود. به طور معمول هنگام کار با آلیاژهای مارتنزیتی به پیش‌گرمایش ۱۲۱ تا ۳۱۶ درجه سانتی‌گراد نیاز است، تا از ترک

خوردگی در رسوب جوش جلوگیری شود (فلز پایه نیز باید در نظر گرفته شود).
آلیاژهای مارتنزیتی کم کربن و کم آلیاژ (کمتر از ۵٪) به طور عمده برای بیلدآپ روی فولادهای کربنی و کم آلیاژ استفاده می‌شوند. استحکام فشاری به نسبت بالا، چقرمگی و مقاومت سایشی خوب در برابر سایش فلز به فلز، آن‌ها را نه تنها برای بازسازی اجزا به ابعاد اصلی خود، بلکه به عنوان زیرلایه برای مواد سخت‌پوشی سخت‌تر، مناسب می‌سازد.

تصویر میکروسکوپی مارتنزیت.

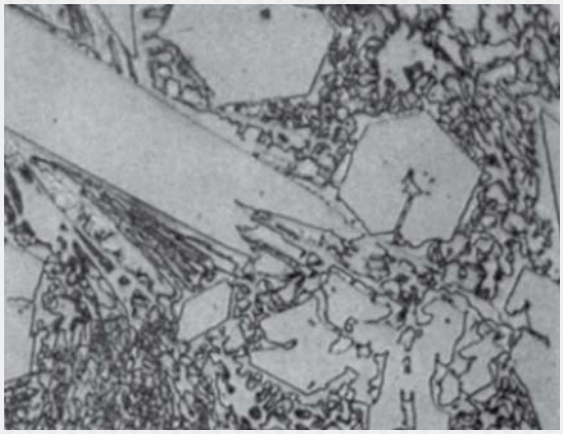
آلیاژهای مارتنزیتی با کمی کربن و آلیاژ بالاتر (۶ تا ۱۲٪) به طور قابل توجهی سختی جوش بالاتری را نشان می‌دهند. این سختی به آن‌ها مقاومت در برابر سایش فلز به فلز و سایش خراشان بهتری نسبت به آلیاژهای بیلدآپ شده دارد، اما چقرمگی کمتری دارد. اگرچه چقرمگی آن‌ها را می‌توان با تمپر کردن بهبود بخشید، آن‌ها به طورعمده به عنوان آلیاژهای روکش استفاده می‌شوند.
گروه دیگری از آلیاژهای مارتنزیتی رایج برای سخت‌پوشی، فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی هستند. این گروه از آلیاژها با داشتن حدود ۰/۲۵ ٪ کربن و ۱۸٪ آلیاژ (به طور عمده کروم)، مقاومت در برابر شوک حرارتی عالی از خود نشان می‌دهند. آن‌ها همچنین مقاومت خوبی در برابر سایش فلز به فلز و مقاومت متوسطی در برابر خوردگی ارائه می‌کنند. آن‌ها برای کاربرد موفقیت آمیز به دستورالعمل‌های جوشکاری سفت و سختی نیاز دارند و به طور گسترده برای روکش غلتک فولادی آسیاب (از جمله ریخته‌گر مداوم) استفاده می‌شوند.
آلیاژهای سخت‌پوشی مارتنزیتی تعادل خوبی از مقاومت در برابر ضربه و سایش ایجاد می‌کنند. با انتخاب محتوای کربن-کروم مناسب، می‌توان بهترین تعادل مقاومت در برابر سایش، چسبندگی و ضربه را انتخاب کرد. توانایی آلیاژهای مارتنزیتی در پاسخ به عملیات حرارتی نیز این امکان را فراهم می‌کند که سختی/چقرمگی آن‌ها پس از جوشکاری برای سازگاری بهتر با شرایط خدمات دهی تغییر یابد. این خانواده آلیاژی نباید برای کاربردهای اتصال استفاده شود و نباید روی فلزات پایه آستنیتی اعمال شود.

### آلیاژهای سخت‌پوشی کاربیدی

- مقاومت در برابر سایش عالی
- مقاومت حرارتی خوب
- مقاومت در برابر خوردگی به نسب خوب
- مقاومت در برابر ضربه به نسبت کم.

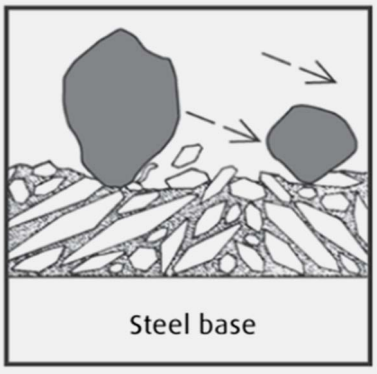
با آلیاژ کردن چند درصد کربن با حداقل ۱۲ درصد آلیاژ (به طور عمده کروم)، کاربیدهای سخت تشکیل

شده و در سرتاسر رسوب سخت‌پوشی پراکنده می‌شوند. این کاربیدهای پراکنده بسیار سخت‌تر از زمینه اطراف هستند و مقاومت سایشی عالی را ارائه می‌دهند. زمانی استفاده می‌شوند، که عامل عمده سایش، خراشیدن باشد.
در مقادیر پایین محدوده کربن (کمتر از ۳٪)، مقدار کاربیدها در مقایسه با زمینه‌ای که در آن پراکنده شده‌اند، کم است و این آلیاژها مقاومت سایشی خوبی از خود نشان می‌دهند و در عین حال چقرمگی خوبی را حفظ می‌کنند. این آلیاژهای سخت‌پوشی کاربیدی برای مقاومت در برابر ترکیبی از سایش و ضربه استفاده می شود.



تصویر میکروسکوپی کاربیدهای بزرگ در زمینه یوتکتیکی کاربید.

با افزایش محتوای کربن (تا ۷٪) در آلیاژهای حاوی کاربید، مقاومت سایشی افزایش و چقرمگی کاهش می‌یابد (به دلیل درصد بیشتر کاربید). تمام سخت‌پوشی کاربیدی تنش‌زدایی ترکی عرضی را ایجاد می‌کند. آلیاژهای با مقادیر بالاتر کربن این ترک‌ها را راحت‌تر و به یک‌دیگر نزدیک‌تر از انواع آلیاژ با کربن پایین‌تر ایجاد می‌کنند.



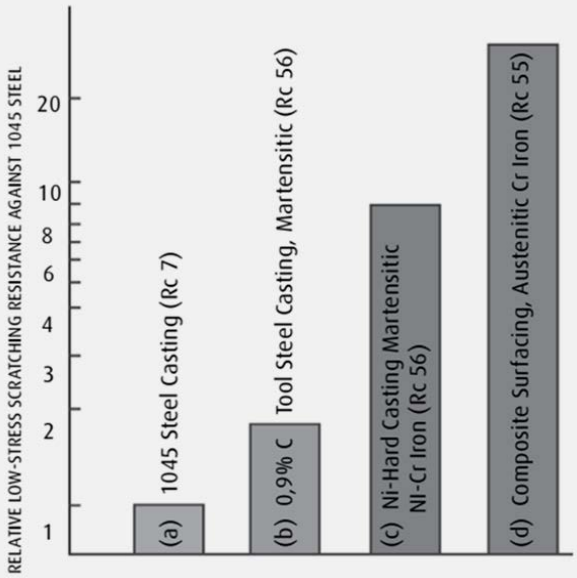

همانطور که کاربیدها توسط ذرات ساینده متحرک از زیر جدا و کنده می‌شوند، کاربیدهای اضافی برای مقاومت بیشتر در برابر ساینده‌ها و تأخیر در سایش، آزاد می‌شوند.

این آلیاژها نباید برای اتصال‌دهی استفاده شوند، اما می‌توانند برای فولاد کربنی، فولاد کم آلیاژ، فولاد آستنیتی منگنز دار و چدن (با روش‌های جوشکاری خاص) استفاده شوند. یک ماده پایه سالم و چقرمه به عنوان پایه آلیاژهای سخت‌پوشی کاربیدی ترجیح داده می‌شود و برای جلوگیری از پوسته پوسته شدن ضخامت رسوب به طور معمول به ۲ تا ۴ لایه محدود می شود. در استفاده از آلیاژهای کاربید روی فلزات پایه نازک باید دقت شود زیرا ترک‌های تنش‌زدایی می‌توانند در بخش‌های نازک منتشر شوند. این آلیاژها در دماهای بالا (برخی تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد) مقاومت سایشی خوبی از خود نشان می‌دهند و باید غیر قابل ماشینکاری در نظر گرفته شوند.

## باور اشتباه در سخت‌پوشی

سختی بیشتر همیشه به معنای مقاومت بیشتر در برابر سایش یا عمر سایش بیشتر نیست. چندین آلیاژ ممکن است دارای درجه سختی یکسانی باشند اما توانایی آنها در مقاومت در برابر سایش خراشان بسیار متفاوت است.

**سختی در مقایسه با مقاومت در برابر سایش**



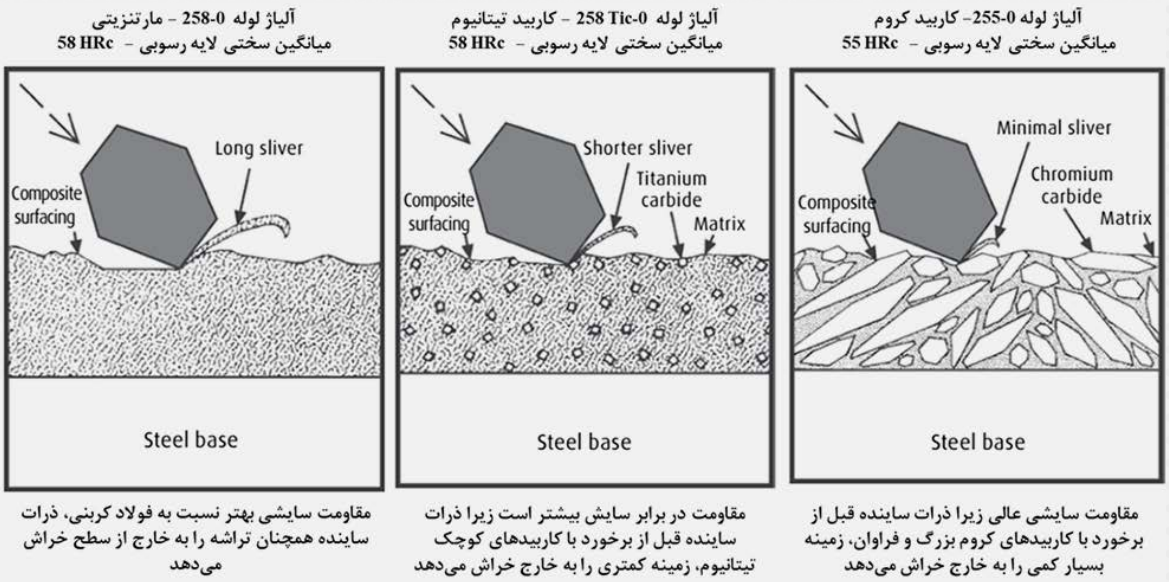

مقایسه مقاومت به سایش سه آلیاژ با سختی مشابه و مقایسه آن‌ها نسبت به فولاد ساده.

این نتایج آزمایش نشان می‌دهد، که سه فلز آخر دارای یک مقدار سختی راکول هستند که تقریباً یکسان است، اما مقاومت آن‌ها در برابر سایش خراشان بسیار متفاوت است:

- فولاد ۱۰۴۵ به عنوان مبنای مقایسه استفاده شده‌است
- فولاد ابزار فقط ۱ و ۳/۴ برابر بیشتر از فولاد ۱۰۴۵ در برابر سایش مقاوم است.
- فلز نیکل-سخت ۸ برابر بیشتر از فولاد ۱۰۴۵ مقاوم است
- سخت‌پوشی کامپوزیتی بیش از ۲۰ برابر مقاوم تر از فولاد ۱۰۴۵ است.

به عنوان مثال، بسیاری از بهترین آلیاژهای سخت‌پوشی مقاومت سایشی بالای خود را از کاربیدهای بسیار سخت پراکنده در یک زمینه نرم‌تر و چقرمه‌تر به دست می‌آورند. آزمون‌های سختی حجمی (راکول یا برینل) که میانگین سختی کاربید و زمینه را با هم در یک منطقه به نسبت بزرگ اندازه‌گیری می‌کنند، اغلب سختی مشابه سایر فلزات معمولی را ثبت می‌کنند. اما در عملکرد واقعی، یک آلیاژ سخت‌پوشی حاوی کاربید، مقاومت سایشی بسیار بهتری دارد.

به طور مشابه، هنگام مقایسه چندین آلیاژ سخت‌پوشی با یکدیگر، درجه سختی حجمی بالا تنها عامل تضمین‌کننده مقاومت در برابر سایش نیست. مقاومت (به ویژه در برابر سایش تحت تنش کم و زیاد) بیشتر به ترکیبی از سختی و ریزساختار متالورژیکی آلیاژ بستگی دارد. ریزساختار آلیاژها با توجه به نسبت کاربیدها به زمینه و نوع کاربیدهای موجود در آلیاژ متفاوت است. آلیاژی که دارای سخت‌ترین، پراکنده‌ترین کاربیدها به طور یکنواخت به همراه بیشترین درصد کاربیدها باشد، بهترین مقاومت را در برابر سایش تحت کم و تنش بالا خواهد داشت.




مقایسه رسوبات سخت‌پوشی: سختی در مقابل مقاومت سایشی.

آلیاژهای سخت‌پوشی نه تنها در طبقه بندی آلیاژها، بلکه بر اساس استفاده اولیه به دو گروه تقسیم می‌شوند:

1. آلیاژهای بیلدآپ
2. آلیاژهای روکشی

آلیاژهای بیلدآپ مقاومت خوبی در برابر سایش ضربه‌ای دارند، اما فقط مقاومت متوسطی در برابر سایش دارند. چنین آلیاژهایی ممکن است خود به عنوان سطوح سایشی استفاده شوند، اما اغلب آن‌ها به عنوان پایه‌ای برای پوشش سخت‌تر و مقاوم در برابر سایش استفاده می‌شوند. هم از منگنز آستنیتی و هم از آلیاژهای مارتنزیتی کم آلیاژ برای بیدآپ استفاده می شود.

آلیاژهای روکشی، روکش‌های سختی هستند، که مقاومت سایشی عالی و مقاومت در برابر ضربه به نسبت ضعیفی دارند. این آلیاژها به دلیل سختی خود به طور معمول به تعداد لایه خاصی محدود می‌شوند. برخی از آلیاژهای مارتنزیتی و همه آلیاژهای کاربیدی برای روکش استفاده می‌شوند.

## اطلاعات مفید سخت‌پوشی

### شناسایی فلزات

توانایی تشخیص انواع مختلف فلزات از اهمیت قابل توجهی در جوشکاری و/یا سخت‌پوشی برخوردار است. فلزات مختلف اغلب به تکنیک‌های مختلف جوشکاری و در برخی موارد انتخاب دقیق محصولات سخت‌پوشی دارند.

در بسیاری از موارد، یک فلز را می‌توان با نقشه‌ها یا مشخصات ماشین شناسایی کرد. با این حال، موارد متعددی وجود خواهد داشت، که یک شک منطقی در مورد اینکه یک قطعه خاص از چه فلزی ساخته شده‌است، وجود خواهد داشت. موارد زیر یک راهنمایی برای شناسایی رایج‌ترین فلزات است و باید برای اکثر اهداف جوشکاری کافی باشد.

### آزمون سوهان

اغلب می‌توان فولاد نرم و آهن کارشده (که به روش یکسان جوش داده می‌شوند) از فولادهای دیگر با سوهان زدن، با استفاده از یک قطعه معلوم فولاد نرم برای مقایسه، تشخیص داد.

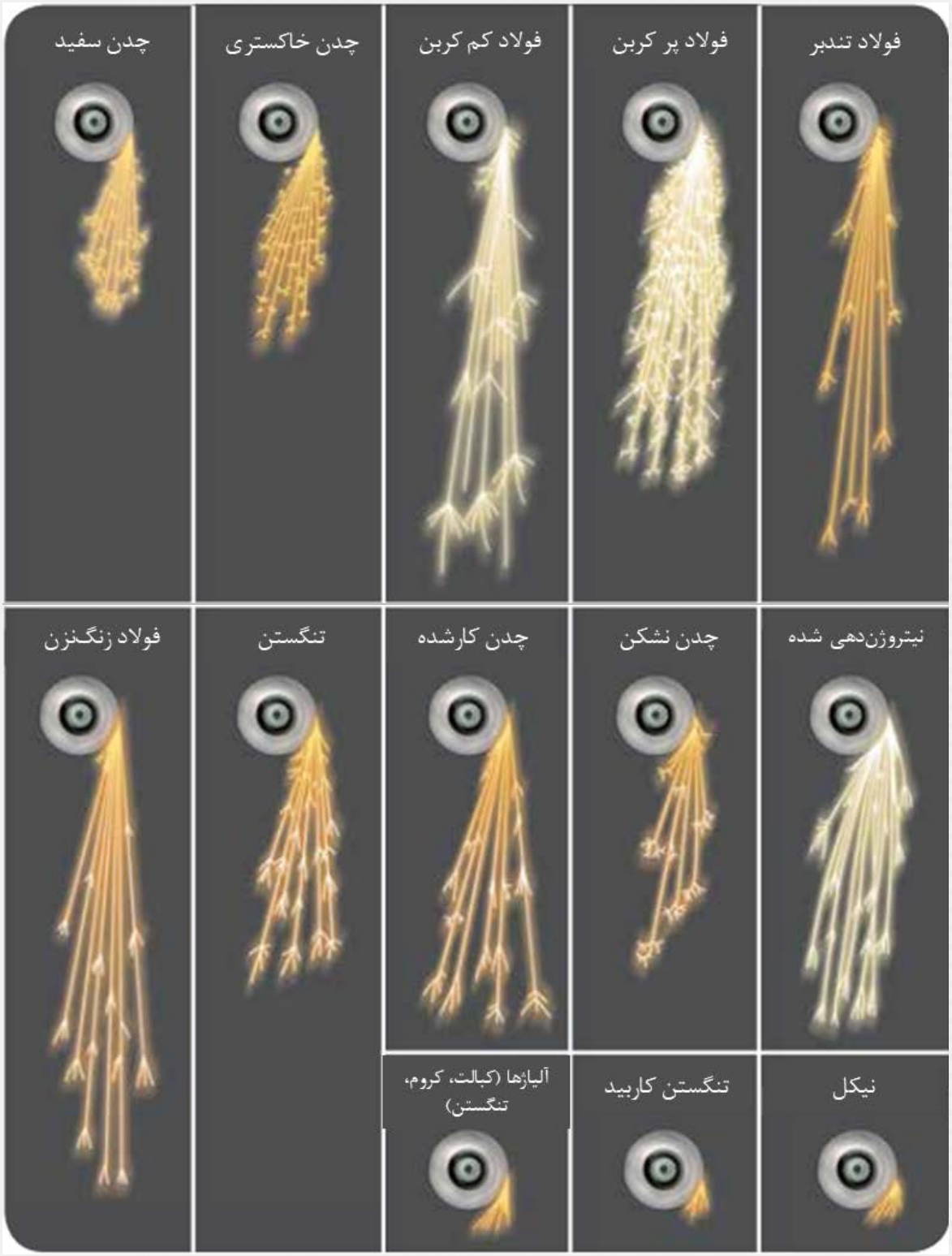
تکه فولاد نامعلوم را محکم نگه دارید، در صورت نیاز در یک گیره، با استفاده از گوشه یک سوهان بزرگ، یک برش محکم روی آن بزنید. سوهان فقط باید در هنگام تماس با فلز در جهت جلو هل داده‌شود. برش مشابهی را با استفاده از سرعت و فشار مشابه روی قطعه معلوم فولاد نرم انجام دهید. اگر رفتار مشابهی داشته باشند، یعنی هر دو به عمق یکسان بریده شوند و اگر کاربر احساس می‌کند، که مقدار «سختی کشش» یکسانی دارد و ...، به احتمال زیاد قطعه ناشناخته یا فولاد نرم یا آهن کارشده است و می توان به همان صورت جوش داد.

اگر آن‌ها رفتار مشابهی نداشته باشند، تقریباً قطعی است، که قطعه یا فولاد پر کربن یا آلیاژی باشد. با استفاده از آزمون جرقه می‌توان بین این دو تفاوت قائل شد.

### آزمون جرقه

انواع مختلف فولادها هنگامی که در مقابل چرخ یک دستگاه سنگ زنی قرار می‌گیرند، واکنش متفاوتی نشان می‌دهند. برای تمایز بین انواع مختلف فولادها با این روش، توصیه می‌شود چند قطعه از انواع شناخته‌شده را برای مقایسه استفاده کنید.

قطعه فولادی به محکمی به گونه‌ای در برابر چرخ در حال چرخش قرار می‌گیرد، که جرقه‌ها هنگام جدا شدن از چرخ قابل مشاهده باشد. سپس ظاهر الگوی جرقه با نمونه‌های نشان داده‌شده در شکل زیر در صورت امکان با نمونه‌هایی که از قطعات فولادی از انواع شناخته‌شده به دست آمده‌است مقایسه می‌شود. هنگام مقایسه قطعات فولادی با آزمون جرقه مهم است، که در هر مورد از فشار یکسانی برای نگه داشتن نمونه در برابر چرخ استفاده شود.




شناسایی نوع فلز با استفاده از آزمون جرقه.

### آزمون آهنربا (مغناطیس)

می‌توان فولادهای آستنیتی را از انواع فریتی و مارتنزیتی با خواص مغناطیسی آنها تشخیص داد. بسیاری از قطعات در معرض ضربه مانند فک‌های سنگ شکن، میله‌های ضربه زن، چکش‌های چرخشی و ... از فولادهای ۱۱ تا ۱۴ درصد منگنز ساخته شده‌اند. ظاهر این فولادها از بسیاری جهات شبیه فولاد نرم یا فولادهای کم آلیاژ هستند و تشخیص آنها با بازرسی معمولی بصری، آزمون سوهان و آزمون جرقه دشوار است. ویژگی اصلی آن‌ها این است، که توسط آهنربا جذب نمی‌شوند. بنابراین، هر نوع فولاد مشکوک باید با آهنربا بررسی شود و اگر به شدت جذب نشود، مانند فولاد منگنزی رفتار شود. فولادهای زنگ نزن نیز می‌توانند مغناطیسی یا غیرمغناطیسی باشند. همیشه قبل از جوشکاری با آهنربا چک کنید. اگر غیرمغناطیسی (بدون جاذبه) باشند، از نوع آستنیتی هستند. اگر آنها مغناطیسی هستند، یا فریتی یا مارتنزیتی هستند.

### آزمون مقار (Chisel)

تشخیص اینکه آیا یک جز ماشین چدنی یا فولادی است، از نظر ظاهری اغلب دشوار است. یکی از مطمئن‌ترین آزمون‌ها این است، که یک تکه کوچک را با یک مقار تیز سرد بردارید. هنگامی که با استفاده از مقار و با چکش ضربه زده می‌شود، چدن به صورت تراشه‌های مشخص از سطح جدا می‌شود. از طرف دیگر، فولاد انعطاف‌پذیرتر است و تراشه‌های باریک پوست کَن می‌شود.

## منابع


۱ “Regularly asked questions about hardfacing”، Postle Industries.

۲ “Guidelines for applying hardfacing alloys”، Postle Industries.

۳ “Hardfacing manual”، Afrox Industries.

۴ “Fundamental of hardfacing”، Welding alloys co. LTD.